
**SUIVI ENVIRONNEMENTAL DE LA CEINTURE VERTE DE MAKIRA,
MADAGASCAR, PAR TELEDETECTION : EVALUATION DES CHANGEMENTS
D'OCCUPATION DU SOL ET DE L'EFFICACITE DE LA GESTION
CONTRACTUALISEE DES FORETS**

Auteur : Randrianarijaona, Herimanitra Abigaïle

Promoteur(s) : Tychon, Bernard; Denis, Antoine

Faculté : Faculté des Sciences

Diplôme : Master de spécialisation en sciences et gestion de l'environnement dans les pays en développement

Année académique : 2016-2017

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/3202>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.



ULg - Faculté des Sciences - Département des Sciences et Gestion de l'Environnement

UCL - Faculté des bioingénieurs

SUIVI ENVIRONNEMENTAL DE LA CEINTURE VERTE DE MAKIRA, MADAGASCAR, PAR TELEDETECTION : EVALUATION DES CHANGEMENTS D'OCCUPATION DU SOL ET DE L'EFFICACITE DE LA GESTION CONTRACTUALISEE DES FORETS

HERIMANITRA ABIGAILE RANDRIANARIJAONA

**MEMOIRE PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER DE SPECIALISATION EN SCIENCES ET GESTION DE L'ENVIRONNEMENT DANS LES PAYS EN
DEVELOPPEMENT
Filière Nature et territoires**

ANNEE ACADEMIQUE 2016-2017

CO-PROMOTEURS : BERNARD TYCHON, ANTOINE DENIS

«Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique de l'Université de Liège et de l'Université catholique de Louvain. * L'autorité académique est représentée par le(s) promoteur(s) membre(s) du personnel enseignant de l'ULg et/ou de l'UCL».*

"Le présent document n'engage que son auteur"

Auteur du présent document : RANDRIANARIJAONA Herimanitra Abigaile
Courriel : manitra.tanymeva@gmail.com; abigaile.mada@yahoo.com



ULg - Faculté des Sciences - Département des Sciences et Gestion de l'Environnement

UCL - Faculté des bioingénieurs

SUIVI ENVIRONNEMENTAL DE LA CEINTURE VERTE DE MAKIRA, MADAGASCAR, PAR TELEDETECTION : EVALUATION DES CHANGEMENTS D'OCCUPATION DU SOL ET DE L'EFFICACITE DE LA GESTION CONTRACTUALISEE DES FORETS

HERIMANITRA ABIGAILE RANDRIANARIJAONA

**MEMOIRE PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER DE SPECIALISATION EN SCIENCES ET GESTION DE L'ENVIRONNEMENT DANS LES PAYS EN
DEVELOPPEMENT
Filière Nature et territoires**

ANNEE ACADEMIQUE 2016-2017

CO-PROMOTEURS : BERNARD TYCHON, ANTOINE DENIS

REMERCIEMENTS

Cette partie est celle que je souhaite étendre sur plusieurs pages et je désire autant partager le plaisir que je ressens à la rédiger avec ceux qui de près ou de loin m'ont aidé à accomplir ce travail. Veuillez recevoir toute ma gratitude.

Mes reconnaissances viennent en premier lieu à mes promoteurs, Bernard Tychon et Antoine Denis qui ont bien voulu m'accompagner tout au long de la réalisation de ce travail. Leur rigueur et leur disponibilité m'ont beaucoup marqués et m'ont aidé à progresser. Je tiens à leur adresser mes sincères remerciements : merci de m'avoir partagé votre savoir et votre passion !

Je remercie chaleureusement aussi l'Université de Liège et l'Université Catholique de Louvain, notamment l'équipe du programme de Master en Sciences et Gestion de l'Environnement pour les pays en développement de m'avoir accueillie au sein de cette formation de haute qualité.

Mes sincères reconnaissances également au Directeur du Parc Naturel Makira, Stevens Ramaroson et à toute son équipe pour leur aide précieuse.

Mes remerciements viennent ensuite naturellement à M. Barké Mahamadou Karimou d'avoir bien voulu accepté d'être le lecteur du présent travail.

Enfin, je tiens à adresser mes vifs remerciements à l'ARES-CCD et à la Fondation Roi Baudouin pour leur soutien financier qui m'ont permis l'opportunité de suivre cette formation et de réaliser mon travail de fin d'étude. Soyez rassurés de mes profondes reconnaissances.

Last but not least, Salohy et Rota, mes deux filles, je reconnais le sacrifice que vous avez enduré pour une année de séparation. Vous avez géré comme des grandes et cela m'a beaucoup soutenu. Le jour où cet écrit tombe dans vos mains, sachez que je vous suis profondément reconnaissante.

RESUME

Le transfert de gestion des ressources naturelles aux communautés locales (TGRN) occupe une place prépondérante dans le paysage de la conservation à Madagascar. Il est considéré comme une réponse aux difficultés liées à l'enclavement et à l'envergure des zones à protéger. Pour l'Aire Protégée (AP) Makira, en plus de son intégration dans le Système des Aires Protégées de Madagascar (SAPM), le TGRN associé au financement carbone constituent les fondements de la pérennisation de sa conservation. L'objectif étant d'évaluer la performance du TGRN à maîtriser la déforestation, le travail a porté sur l'étude de l'évolution de la quantité et de la vitalité de la couverture végétale par la dynamique des valeurs de l'indice de végétation NDVI des années 2005 et 2017 ainsi que sur l'analyse des changements d'occupation du sol au niveau de la ceinture verte de l'AP Makira. La réalisation de ce suivi environnemental s'est basée principalement sur la télédétection.

Les résultats ont permis de mettre en exergue l'incapacité des sites de TGRN mis en place, à stabiliser les pressions anthropiques et à maîtriser les migrations et les activités illicites. La zone d'étude est marquée par la perte en biodiversité et la libération de CO₂ liées aux changements d'affectation des terres. 42.50% de la superficie de sa forêt dense est perdue en douze ans. Son taux de déforestation annuel moyen, de 3.54%, dépasse largement la moyenne nationale pour le biome des forêts humides de l'Est de même altitude. Les activités économiques et les installations humaines ont triplé leur surface. Aucune différence significative n'a pu être relevée en termes de maîtrise des pressions entre sites sous contrats de TGRN et ceux sans contrats. Il ressort que le niveau des pressions n'est pas lié au statut de gestion des sites mais à leur attractivité économique et à leur accessibilité. Les analyses soulignent par ailleurs le caractère illicite d'une grande partie de ces installations et activités modifiant significativement le paysage. La revue de la TGRN est de ce fait capitale car sa non effectivité menace la biodiversité et le maintien des services écosystémiques.

Mots clés : Suivi environnemental, télédétection, transfert de gestion, ressources naturelles, communautés locales, NDVI, changements d'occupation du sol, Madagascar.

ABSTRACT

The Malagasy environmental policy mainly relies on the Community Based Natural Resource Management, known as TGRN, to cope with the challenges of remote isolated and large size areas to be protected. The TGRN and carbon financing are considered for the Makira Natural Park in addition to its Protected Areas (PA) status in order to guarantee a long term sustainability of its conservation. The purpose of this study is to assess the effectiveness of the TGRN in Makira at reducing deforestation. The vegetation cover and vitality changes between 2005 and 2017 are analyzed using NDVI index. Besides, the land use change within the green belt is analyzed. This environmental monitoring was mainly based on remote sensing. The results highlight the failure of the established TGRN sites to stabilize anthropogenic pressures and to decrease illegal activities and migration. The study area is characterized by biodiversity loss and CO₂ emission due to land-use changes. With 42.50% of dense forests lost in twelve years, the average annual deforestation rate of 3.54% is well above the national level for similar wetland forests biomes. Indeed, economic activities and human settlements have tripled their size. No significant difference could be noted in terms of deforestation reduction between sites under and without TGRN contract. It appears then that the level of pressure is not linked to the site management status but to their economic attractiveness and accessibility. The review of the TGRN concept is therefore crucial as its ineffectiveness threatens both biodiversity and ecosystem services.

Key words: Environmental monitoring, remote sensing, management transfer, natural resources, local communities, NDVI, land use change, Madagascar

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	i
RESUME	ii
ABSTRACT	iii
TABLE DES MATIERES	iv
LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES CARTES	vi
LISTE DES TABLEAUX	vii
SIGLES ET ABREVIATIONS	vii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTERATURE	5
1.1 TELEDETECTION ET SUIVI DES FORETS	5
1.2 REPNSES DE LA TELEDETECTION AUX BESOINS DE LA GESTION DES FORETS	5
1.3 PRINCIPAUX USAGES DES DONNEES DE LA TELEDETECTION EN SUIVI DES FORETS	7
1.3.1 Cartographie à grande échelle du couvert végétal avec les données optiques de faible résolution :	7
1.3.2 Suivi de la déforestation et de la dégradation forestière par les données optiques de moyenne résolution	8
1.3.3 Vérification des résultats des suivis de forêts, évaluation de la précision et évaluation localisée par les données optiques de haute résolution.....	8
1.3.4 Suivi de la couverture forestière dans les zones de forte nébulosité et système d’alerte précoce au déboisement et aux feux avec les données des radars à synthèse d’ouverture (SAR).....	9
1.3.5 Caractérisation de la structure de la végétation sur l'ensemble d'un paysage et vérification des évaluations de la biomasse par les données LIDAR.....	10
1.4 LA TELEDETECTION ET LES STRUCTURES MONDIALES DE SURVEILLANCE DES FORETS	11
1.5 LA TELEDETECTION ET LE SUIVI DES FORETS A MADAGASCAR	12
1.6 L’EVALUATION ET LE SUIVI DES FLUX DE CARBONE DANS LE MONDE ET A MADAGASCAR.....	12
CHAPITRE II : METHODOLOGIE	14
2.1 LE CHOIX DE LA ZONE D’ETUDE	14
2.1.1 Les critères de choix.....	14
2.1.2 L’échantillonnage des sites	15

2.2	LA RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE.....	19
2.3	LA TELEDETECTION, LA RECHERCHE D'IMAGES ET DE DONNEES SIG.	19
2.3.1	La télédétection	19
2.3.2	Le choix des images de télédétection.....	20
2.3.3	La collecte des données SIG	22
2.4	LOGICIELS UTILISES	22
2.5	LES PRETRAITEMENTS DES IMAGES	22
2.6	LE MASKING DES NUAGES	23
2.7	LA DETECTION DU CHANGEMENT TEMPOREL DES NDVIs	23
2.7.1	Transformation des DN en réflectance sur Landsat7	24
2.7.2	Transformation des DN en réflectance sur Landsat8	25
2.8	L'ANALYSE DIACHRONIQUE DE L'EVOLUTION DES OCCUPATIONS DU SOL	26
2.8.1	La cartographie des occupations du sol.....	26
2.8.2	La matrice de confusion	30
2.8.3	La matrice de transition.....	30
2.9	LES APPROCHES POUR L'ANALYSE DES RESULTATS.....	30
	CHAPITRE III : RESULTATS.....	31
3.1	Diminution des activités chlorophylliennes au niveau du groupe de sites de GCF ..	31
3.2	Amélioration générale de la vitalité de la végétation dans la zone 2.....	34
3.3	Multiplication des petites zones à faible NDVI dans la zone 3.....	36
3.4	Dynamique des changements des NDVIs différente par zone géographique	38
3.5	Densité et vitalité de la végétation plus améliorées au niveau des sites non GCF	39
3.6	Changements d'occupation du sol marqués par une intensité très élevée de la présence humaine et de ses activités au niveau de la zone 1.....	42
3.7	Activités anthropiques plus importantes au niveau des sites de GCF pour la zone 2	43
3.8	Tendance vers une stabilisation spatiale des activités agricoles pour le site GCF de la zone 3	44
3.9	Matrices de confusion.....	45
3.9.1	Matrice de confusion pour la classification des occupations de sol de 2005	45
3.9.2	Matrice de confusion pour la classification des occupations de sol de 2017	46
3.10	Incapacité de la GCF à maîtriser les pressions anthropiques.....	47
3.11	Taux de déforestation paradoxalement inférieur aux sites de GCF pour les sites sans GCF	48
	CHAPITRE IV : DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS	50
4.1	Par rapport à la méthodologie.....	50
4.2	Par rapport aux résultats	51
4.2.1	Efficacité mitigée de la gestion contractualisée des forêts.....	51

4.2.2 Activités anthropiques constituant une réelle menace pour la biodiversité et les services écosystémiques	52
4.2.3 Additionnalité de la mise en place de la ceinture verte de Makira pour l'avenir	52

CONCLUSION	53
-------------------------	-----------

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma d'aménagement synthétique de l'AP Makira	14
Figure 2 : Diagramme ombrothermique des six mois précédents les prises d'images	20
Figure 3: Dynamique des NDVIs de la zone 1 (a)	33
Figure 4: Dynamique des NDVIs de la zone 1 (b)	33
Figure 5: Dynamique des NDVIs de la zone 2 (a)	35
Figure 6: Dynamique des NDVIs de la zone 2 (b)	35
Figure 7: Dynamique des NDVIs de la zone 3 (a)	37
Figure 8: Dynamique des NDVIs de la zone 3 (b)	37
Figure 9: Dynamique des indices NDVI des sites avec GCF (a)	39
Figure 10: Dynamique des indices NDVI des sites avec GCF (b)	39
Figure 11: Dynamique des indices NDVI des sites sans GCF (a)	40
Figure 12: Dynamique des indices NDVI des sites sans GCF (b)	40

LISTE DES CARTES

Carte 1 : Zone Makira	15
Carte 2 : Situation des TDG de la ceinture verte de Makira	17
Carte 3 : Echantillon des sites pris pour l'étude	18
Carte 4. Evolution des indices NDVI du groupe de sites de GCF de la zone 1	32
Carte 5: Evolution des indices NDVI de la zone 2	34
Carte 6: Evolution des indices NDVI du groupe de sites mixtes de la zone 3	36
Carte 7: Détection des changements de NDVIs	38
Carte 8: Aperçu général de la dynamique des changements de NDVIs des trois zones	41
Carte 9: Evolution des occupations du sol de la zone 1	42
Carte 10: Evolution des occupations du sol de la zone 2	43
Carte 11: Evolution des occupations du sol de la zone 3	44

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Utilité des capteurs optiques à différentes résolutions pour le monitoring de la déforestation	6
Tableau 2 : Classes d'occupation du sol	28
Tableau 3 : ROIs pour la classification de l'image de 2005	29
Tableau 4: ROIs pour la classification de l'image 2017	29
Tableau 5: Matrice de confusion associée à l'image de 2005	45
Tableau 6: Matrice de confusion associée à l'image de 2017	46
Tableau 7: Matrice de transition des sites avec GCF (en %)	47
Tableau 8: Matrice de transition des sites avec GCF (en ha)	48
Tableau 9: Matrice de transition des sites sans GCF (en %)	49
Tableau 10: Matrice de transition des sites sans GCF (en ha)	49
Tableau 11: Evolution de la population au niveau des sites étudiés	51

SIGLES ET ABREVIATIONS

AP	:	Aire protégée
CO2	:	Dioxyde de Carbone
CEPF	:	Critical Ecosystem Partnership Fund
ETM+	:	Enhanced Thematic Mapper Plus
FAO	:	Food and Agriculture Organization
ENVI	:	Environment for Visualizing images
GCF	:	Gestion Contractualisée des Forêts
GELOSE	:	Gestion Locale Sécurisée
GEO	:	Group for Earth Observation
GEOSS	:	Système des Systèmes de GEO
GFOI	:	Global Forest Observations Initiative
GTOS	:	Global Terrestrial Observing Systems
IRD	:	Institut de Recherche et de Développement
LIDAR	:	Light Detection and Ranging
MEEF	:	Ministère de l'Environnement, des Eaux et Forêts
NDVI	:	Normalized Difference Vegetation Index
OLI	:	Operational Land Imager
ONE	:	Office National de l'Environnement
ONESF	:	Observatoire National de l'Environnement et du secteur Forestier
PIR	:	Proche Infrarouge
REBIOMA	:	Réseau de la Biodiversité de Madagascar Réduction des Emmissions dues à la Déforestation et à la Dégradation des
REDD+	:	Forêts
ROI	:	Région of Interest
SAPM	:	Système d'Aires Protégées de Madagascar
SIG	:	Système d'Information géographique
TGRN	:	Transfert de Gestion des Ressources Naturelles
TIRS	:	Thermal Infrared Sensor
WCS	:	Wildlife Conservation Society

INTRODUCTION

Contexte

Madagascar est un pays de méga biodiversité. La grande île abrite près de 5 % de la biodiversité mondiale avec un niveau extrêmement élevé d'endémisme de sa flore comme de sa faune. La faune malgache présente un niveau d'endémisme exceptionnel qui s'étend même jusqu'à la famille pour des groupes taxonomiques et le taux d'endémisme atteint 100 % pour certains. La flore de Madagascar est une des plus riches au monde car elle compterait selon les estimations, entre 13 000 et 14 000 espèces pour une superficie de 590 000 km², avec un taux d'endémisme plus de 80% et un nombre élevé de familles endémiques qui s'élève à cinq. (MEF, 2014).

Madagascar est également un hotspot, car elle a perdu plus de 80% de sa couverture forestière originelle. Elle est reconnue parmi les priorités mondiales en matière de conservation de la biodiversité. La couverture forestière naturelle de Madagascar a été estimée à 8 485 509 hectares en 2013 et le taux de déforestation moyen annuel est de 0,4% (ONE, 2013) soit environ 34 000 ha de forêt perdue par année. Cette situation est alarmante étant donné qu'un ha de forêt naturelle à Madagascar est d'une grande valeur à l'échelle de la planète.

Toutefois, le financement de la conservation est un des grands problèmes de la protection de l'environnement à Madagascar. Les besoins en financement pour les coûts de gestion du système d'aires protégées de l'île sont estimés à 20 millions USD par an à raison de 03 USD par hectare par an (Banque Mondiale, 2010 ; MEF, 2014). Alors que le budget annuel moyen du ministère en charge de l'environnement auquel est rattaché le Système des Aires Protégées de Madagascar (SAPM) est d'environ 3 millions USD. Aussi la protection de l'environnement est particulièrement dépendante des financements externes qui couvrent chaque année plus de 80% du budget (MFB, 2016). Compte tenu des lacunes en financement associées à l'étendu et le grand enclavement des zones forestières, Madagascar a reconnu le rôle crucial des communautés locales dans la protection des forêts.

Depuis 1996, le principe de la subsidiarité a été mis en avant à travers le transfert de gestion des ressources naturelles (TGRN) aux communautés locales. A noter que la loi foncière héritée des époques royale et coloniale a déjà placé tous les espaces et toutes les terres non cultivées dans le domaine de l'État. Le TGRN responsabilise les structures sociales et politiques locales à la protection de la biodiversité et peut être considéré comme une sorte de « renoncement de l'administration forestière à sa politique antérieure de répression et d'exclusion des populations locales » (Muttенzer, 2006, 2001, Sarrasin, 2009). La forte croissance de la migration aux abords

des aires protégées conjuguée à l'état de précarité de la population qui y vit déjà ont fait que la vitesse de destruction des ressources naturelles de Madagascar a atteint un niveau alarmant au cours des années 90. Et c'est dans ce contexte que l'initiative a été mise en place. En effet, l'administration reconnaît que le phénomène de déforestation et son accélération s'explique souvent par les méthodes d'exploitation et de mise en valeur agricoles conditionnées par les contextes socio-économiques locales (MEEF, 2005). Le TGRN utilise deux outils qui sont la loi 96-025 relative à la Gestion locale des ressources naturelles renouvelables (loi GELOSE), promulguée le 10 septembre 1996, et le décret de 2001 relatif à la mise en place de la Gestion Contractualisée des Forêts (GCF). Selon les types de ressources, ces deux outils ont pour objet la gestion durable des ressources naturelles par les communautés locales.

La zone Makira a été choisie pour tester le financement à long terme de la conservation à travers la vente des crédits de carbone via le mécanisme REDD+. Dans ce cadre, l'engagement des communautés locales dans et aux alentours de l'Aire Protégée (AP) Makira constitue une des principales stratégies de mise en œuvre du projet Makira. L'idée est de constituer une ceinture verte formée par des terroirs communautaires sous GCF de manière à former un bouclier de protection éloignant les pressions bien loin de l'AP Makira. Le GCF se traduit en un contrat passé entre l'administration forestière et les communautés locales. Il dote aux communautés locales la gestion de l'accès, de la conservation, et de l'exploitation du terroir et des ressources qui s'y trouvent. Aussi, le GCF engage ces communautés locales à stabiliser leurs habitations et leurs activités économiques sur les parcelles qu'elles ont déjà mises en valeur. Les parcelles n'ayant pas reçu des formes de mise en valeur dont principalement les forêts sont destinées seulement pour la cueillette des ressources non ligneuses et pour le prélèvement de bois de construction des cases des ménages du site selon des besoins justifiés. Depuis 2015, il est convenu d'octroyer 50% des revenus carbonés aux communautés locales engagées dans les GCF afin de soutenir leur initiative.

Problématique :

Les premiers sites de GCF de la ceinture verte de Makira ont été mis en place en fin 2004. Actuellement, il existe 67 sites de GCF sur une estimation d'environ 80 sites à mettre en place soit douze ans après la mise en place des premiers sites de GCF, la ceinture verte n'est pas encore bouclée à 100%. Une des causes majeures est le refus de la part des communautés locales car l'adhésion à un GCF est en effet volontaire. Des terroirs communautaires adjacents identifiés comme devant constituer les maillons de la ceinture verte peuvent être en partie sans GCF. Aussi la ceinture verte actuelle n'est pas un ensemble ordonné de sites avec GCF puis des sites sans

GCF mais un pêle-mêle des deux. Aussi un terroir sans GCF peut se situer au milieu de deux terroirs avec GCF et inversement. Des questions se posent alors sur le *leakage* des pressions des sites avec GCF vers les sites sans GCF ? Mais d'abord est-ce que le GCF peut être confirmé comme un bon outil qui permet de maîtriser les pressions au niveau son site d'application? Qu'en est-il des *leakages* qu'il engendre et comment les gérer ?

Pour répondre à ces questions, la présente étude utilise la télédétection pour l'analyse diachronique de l'évolution de la couverture végétale, de l'occupation et de l'usage des sols au niveau des sites avec et sans GCF de la ceinture verte de l'AP Makira. La télédétection est un outil de suivi environnemental de grande potentialité reconnue par les acteurs de l'environnement du monde entier. Pourtant son utilisation à Madagascar reste restreinte et elle n'a jamais été mise à profit pour les sites à gestion communautaire malgré les efforts mondiaux pour rendre les images accessibles.

Objectifs du travail

Le transfert de gestion des ressources naturelles aux communautés locales est une politique de conservation théoriquement pertinente et prometteuse regardant le contexte malgache. De ce fait, elle occupe une place prépondérante dans le paysage de la gestion des ressources naturelles de l'île. L'étude veut alors par l'utilisation de la télédétection contribuer à la connaissance de l'efficacité de cet outil en termes de maîtrise de la déforestation.

Plus spécifiquement, il s'agit :

- d'identifier des différences significatives sur l'évolution de la couverture forestière dans les zones à GCF et les zones sans GCF ;
- d'analyser l'accroissement des habitations humaines qui peut traduire une maîtrise de la migration ou non.

Hypothèses

De ce qui précède, les hypothèses à vérifier sont comme suit :

H1 : Les terroirs communautaires avec GCF ont diminué ou stabilisé leur déforestation;

H2 : La déforestation au niveau des terroirs communautaires sans GCF accroît rapidement et notamment les pressions sont déplacées vers ceux-ci quand ils sont entourés de sites sous engagement de GCF;

H3 : En termes de quantité de parcelles forestières converties en zones de culture ou d'habitation, les sites avec GCF ont un ratio inférieur au site sans GCF.

Pour traiter ce sujet, le présent document va comporter quatre chapitres :

- Chapitre 1, la revue de la littérature,
- Chapitre 2, la méthodologie détaillée,
- Chapitre 3, les résultats,
- Chapitre 4, les discussions et les recommandations.

CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTERATURE

1.1 TELEDETECTION ET SUIVI DES FORETS

Les professionnels des forêts ont été pionniers, après les armées, dans le domaine de l'application de la télédétection aux tâches d'inventaire (Koch, 2011). Dans le passé, les forestiers utilisaient des relevés aériens et de terrain pour recueillir des données sur la couverture forestière mais avec l'avènement de la technologie d'imagerie par satellite, il est beaucoup plus courant d'utiliser des techniques de télédétection satellitaire pour mener le suivi des forêts, en particulier la déforestation tropicale (Global Forest Atlas, 2017). Les différentes négociations internationales dans le cadre des grandes conventions traitant des questions environnementales mondiales, à l'instar de la biodiversité, du climat et de la désertification ont accordé plus d'envergure à la télédétection en la considérant comme étant l'outil qui permet des analyses rétrospectives et prospectives des évolutions des ressources naturelles à multi-échelle. Certes, le suivi des forêts est devenu bien plus que des exercices d'inventaire forestier. A part les études quantitatives et qualitatives des ressources forestières, les dynamiques des couvertures du sol ainsi que l'évolution des services écosystémiques entrent aussi dans l'exercice. Pour l'Union Internationale des Organisations de Recherche Forestière (IUFRO), le suivi des forêts est une mesure régulière et périodique de certains paramètres des forêts (physique, chimique et biologique) en vue de déterminer les bases de référence et ainsi de détecter et d'observer les changements dans le temps.

1.2 REPONSES DE LA TELEDETECTION AUX BESOINS DE LA GESTION DES FORETS

Le recours à la télédétection se fait depuis les usages les plus basiques tels que la cartographie des ressources jusqu'aux études plus complexes comme l'évaluation des stocks de biomasse ou la capacité de séquestration en CO₂ d'une étendue forestière. L'aspect incontournable de la télédétection en gestion des ressources forestières est par ailleurs largement admis par les acteurs du suivi forestier. Pour les forêts tropicales, compte tenu de l'étendue ainsi que de la difficulté d'accès, les méthodes de télédétection sont depuis longtemps considérées comme des outils essentiels pour produire des cartes de biomasse à plus ou moins grande échelle (Gibbs et al., 2007 ; Clark et al., 2012 ; Panzou et al, 2016). Pour les négociations climatiques, la télédétection est suggérée quasi unanimement par la communauté internationale comme un outil de mesure de

la déforestation, de la dégradation des forêts et des émissions de GES associées à ces dernières dans la mise en œuvre du mécanisme REDD+. (Tsayem, 2011).

Une gamme de données de télédétection existe actuellement pour répondre aux besoins de suivis des ressources forestières. Elles comprennent des images satellites et des photographies aériennes acquises dans le domaine du visible et de l'infrarouge enregistrés par des capteurs passifs, des données d'élévation de type LIDAR (Light Detection and Ranging) acquises par des capteurs actifs et des images acquises dans le domaine des micro-ondes enregistrés par des capteurs radar actifs. La plupart du temps, les données de télédétection utilisées en écologie sont des données optiques acquises par des capteurs passifs (Kerr and Ostrovsky 2003), (Betbeder, 2015). Mais actuellement, les données optiques et radar de moyenne et haute résolution sont les principaux types de données de télédétection qui sont recommandées par l'Initiative mondiale pour l'observation des forêts pour cartographier les forêts, la couverture terrestre ainsi que leurs évolutions (GFOI, 2014). L'utilisation des données de télédétection viennent en complémentarité avec les données du terrain. Selon FAO, 2010, la télédétection ne remplace pas la collecte de bonnes données de terrain, toujours nécessaires, mais la combinaison de ces deux techniques donne de meilleurs résultats que l'une ou l'autre employée seule. Maya et al, 2015, Panzou et al, 2016, confirment que la qualité de la cartographie de la biomasse dépend aussi du plan d'échantillonnage des inventaires forestiers et des estimations de biomasse de terrain utilisées pour calibrer les données de télédétection. Le tableau suivant illustre l'exemple de l'utilité des capteurs optiques à différentes résolutions pour le monitoring de la déforestation.

Tableau 1. Utilité des capteurs optiques à différentes résolutions pour le monitoring de la déforestation

Résolution spatiale	Exemple de capteurs	Utilité pour le monitoring	coût
Très haute (< 5m)	IKONOS, QuickBird	Validation locale des résultats obtenus avec des capteurs large champ	Très élevé
Haute (entre 10m et 60 m)	Landsat, Spot HRV, AWIFS LISS 3, CBERS	Supports pour l'identification de la déforestation et de la dégradation forestière	Faible pour les données d'archives, élevé pour les données actuelles ou récentes
Moyenne	MODIS, Spot VEGETATION	Fiable pour le monitoring annuel : identification des zones de déforestation massive (> 10-20 ha), repérage des hot spot pour le suivi avec les images de haute et très haute résolution	Faible, images fournies gratuitement

Source : DeFries et al., 2007

1.3 PRINCIPAUX USAGES DES DONNEES DE LA TELEDETECTION EN SUIVI DES FORETS

La résolution spatiale des données de télédétection constitue un des facteurs déterminant leur type d'usage en matière de suivi des forêts bien que la résolution temporelle et la résolution radiométrique sont toutes aussi importantes. L'accessibilité et la densité temporelle sont les avantages majeurs des images de faible à moyenne résolution tandis que les images de haute résolution sont prisées par la qualité de leur discernement. Dans le cadre des évaluations de la biomasse forestière, par exemple, il a été estimé que la qualité de la cartographie dépend fortement des types de capteurs utilisés (Optique, RADAR ou LiDAR), de la résolution spatiale et/ou temporelle des données de ces capteurs (Zolkos et al., 2013, PANzou et al 2016). Toutefois malgré la finesse des données de haute résolution, elles n'ont pas remis en cause l'utilité des capteurs à large champ.

1.3.1 Cartographie à grande échelle du couvert végétal avec les données optiques de faible résolution :

Les données optiques de faibles résolutions (taille de pixel supérieure à 250 m environ) sont de plus en plus mises à contribution pour produire des cartes du couvert végétal aux niveaux global, continental et régional (Tsayem *et al*, 2011). Elles permettent aussi de détecter des zones de déforestations massives et de repérer les hot spot (DeFries et al., 2007). Les changements d'indices spectraux définis par des données de faible résolution telles que celles émanant du MODIS62 et du CBERS-2 ont été ainsi identifiées comme utiles pour détecter des zones où les forêts subissent des modifications, dans un but de stratification ou pour guider l'échantillonnage (GFOI, 2014). Par ailleurs, la haute résolution temporelle de ces données contribue à compenser le faible pouvoir de résolution spatiale en lissant la série chronologique. Ces données de haute fréquence et de faible résolution peuvent être aussi utilisées pour dresser une carte des indicateurs de l'évolution des forêts en temps réel, utile pour lancer des alertes précoces et pour détecter le déboisement et la dégradation des forêts. (GFOI, 2014). Plusieurs exemples illustrent le recours à ces données pour la gestion des ressources forestières mondiales et régionales. Les cartes de végétation de l'Afrique centrale ont été établies avec de données optiques de faible résolution validées par des enregistrements à résolution spatiale plus haute (Landsat MSS et TM, Spot XS) (Laporte *et al.*, 1995 et 1998 ; Achard *et al.*, 2002 ; Mayaux *et al.*, 2003, Tsayem *et al*, 2011) . Aussi, Mayaux *et al*, en 2005, ont élaboré la cartographie des Zones de déforestation active détectée en zone intertropicale à l'aide du capteur AVHRR de NOAA. De même qu'en

2008, Arino *et al.* ont utilisé les produits GlobCover, issus du traitement d'images ENVISAT-MERIS, des cartes globales du couvert végétal, avec une résolution spatiale de 300 m pour élaborer des cartes du couvert végétal, aussi bien au niveau global qu'au niveau continental.

1.3.2 Suivi de la déforestation et de la dégradation forestière par les données optiques de moyenne résolution

Les données optiques de moyenne résolution (pixel dans une fourchette de 10 à 80 m) sont celles avec lesquelles les acteurs du suivi des forêts dans le monde ont le plus d'expérience (GFOI, 2014). Le programme Landsat détient la base de données la plus prévalente dans ce cadre selon Programme Régional pour l'Environnement en Afrique Centrale/USAID (http://fr.carpe.umd.edu/geospatial/satellite_imagery_resources.php#Landsat) et ces données sont les plus couramment utilisées. Les pays qui disposent de programmes nationaux opérationnels pour surveiller la couverture forestière à partir de données Landsat ou de type Landsat sont l'Australie (Furby *et al.*, 2008), le Brésil (DMC et CBERS; Souza, 2006), l'Inde (IRS; Pandey, 2008) et les États-Unis (Fry *et al.*, 2009). En effet, les avantages des données issues du programme Landsat sont: a) une utilisation de longue date, depuis 1972, b) une acquisition, un prétraitement et un archivage mondiaux des données, c) un accès libre et gratuit aux données des archives.

En général, les jeux de données issus de Landsat sont les seuls disponibles pour évaluer les données d'archives concernant les activités de déforestation et de dégradation forestière (GFOI, 2014). Ainsi, selon GOFD-GOLD, 2012, les images les plus courantes pouvant être utilisées pour suivre les activités REDD+ ont une résolution de 30 m, obtenue par la série de satellites Landsat. Le Global Forest Atlas se réfère à l'utilisation des images Landsat à 30m et MODIS à 250m² pour le suivi des deux plus vastes forêts tropicales du monde qu'est l'Amazonie et le bassin du Bassin de Congo. Le même système a également été utilisé pour le site interactif Global map of forest cover change mis en place par l'Université de Maryland et Google.

1.3.3 Vérification des résultats des suivis de forêts, évaluation de la précision et évaluation localisée par les données optiques de haute résolution

Les données optiques de haute résolution (taille de pixel < 10m) sont utilisées pour des usages plus exigeants en matière de suivi des forêts. Elles font office d'outils de vérification des

cartographies d'usage du sol et des évolutions de la couverture forestière pour des besoins plus pointus. Selon GFOI 2014, elles peuvent améliorer la détection des changements liés à la dégradation des forêts et permettent généralement de vérifier les données sur les activités REDD+ de façon plus précise et avec une différenciation plus nette que les données de moyenne résolution. Elles servent aussi d'outil d'évaluation de la précision pour des sections transversales, des zones locales ou des régions d'intérêt, et pour l'évaluation des zones les plus exposées où des changements se produisent ou sont susceptibles de se produire. Par exemple, une haute résolution spatiale des capteurs optiques augmente la précision des estimations de la biomasse (Biomasse et stocks de carbone des forêts tropicales africaines, Grace Jopaul Loubota Panzou, Jean-Louis Doucet, Jean-Joël Loumeto, Achille Biwolé, Sébastien Bauwens & Adeline Fayolle, 2016). Aussi, les images de très haute résolution spatiale provenant des capteurs satellitaires (par exemple : Quickbird, GeoEye) peuvent être utilisées pour estimer les stocks de carbone forestier avec une faible erreur sur des zones relativement restreintes (Bastin et al., 2014, Panzou et al., 2016). Toutefois, pour certains cas, les données optiques de haute résolution ont été quand même aussi utilisées pour la réalisation de l'évaluation de la déforestation à l'échelle globale. La FAO a utilisé des images à haute résolution spatiale sur un échantillon de sites, et a généralisé ensuite les résultats à l'ensemble d'un continent ou d'une zone écologique par extrapolation statistique pour évaluer les superficies forestières et leur diminution dans les régions tropicales, en parallèle avec les inventaires forestiers nationaux (FAO, 2001a et b ; FAO, 1996, Tsayem 2011). Les frais d'acquisition relativement élevés limitent l'utilisation de ces données d'autant plus qu'elles ne peuvent pas être disponibles pour des pays entiers et pour suffisamment de période.

1.3.4 Suivi de la couverture forestière dans les zones de forte nébulosité et système d'alerte précoce au déboisement et aux feux avec les données des radars à synthèse d'ouverture (SAR)

Les capteurs radar sont capables d'acquérir des images sans être dépendants des conditions de visibilité, donc de nébulosité, ce qui permet d'effectuer un suivi de vastes régions à des fenêtres temporelles relativement courtes (GFOI 2014, Betbeder, 2015). Les systèmes radar peuvent à cet effet produire des informations qui ne sont pas visibles dans les données optiques. Ils sont alors complémentaires à ces dernières et particulièrement pour les zones à nébulosité persistante. Aussi, l'association de divers types de capteurs (SAR en bande L et données optiques, SAR en

bande L et en bande C, etc.), améliore la distinction entre types de forêts et types de couvert végétal (Holecz *et al.*, 2010) (GFOI, 2014).

De plus, du fait de leur série chronologique dense, ces données offrent des possibilités d'alertes précoces au déboisement comme le système INDICAR d'IBAMA, au Brésil (De Mesquita, 2011, GFOI 2014).

En général, les systèmes SAR fonctionnant avec des longueurs d'onde courtes (bande C) donnent des informations sur la structure du couvert végétal (GFOI 2014). Tandis que, les radars SAR en bande L (longueur d'onde environ 23,5cm) ont la capacité opérationnelle de cartographier la couverture forestière et son évolution (GEO, 2011; Walker *et al.*, 2010) et la capacité pré opérationnelle d'indiquer le couvert végétal (GEO, 2011), les données sur les activités (Mitchell *et al.*, 2012; Lucas, *et al.*, 2010) et la substratification des forêts (GEO, 2012; Hoekman, 2012) (GFOI, 2014). Enfin, les données SAR en bande X permettent de caractériser de façon plus détaillée la structure de la couverture forestière et ont la possibilité d'offrir des informations sur la dégradation des forêts par exemple dans le cas de l'exploitation forestière sélective (Baldauf, 2013)(GFOI, 2014).

1.3.5 Caractérisation de la structure de la végétation sur l'ensemble d'un paysage et vérification des évaluations de la biomasse par les données LIDAR

Les données LIDAR ont la capacité d'acquérir des mesures tridimensionnelles de la surface d'un paysage à une résolution spatiale fine, ce qui permet d'estimer une grande variété de caractéristiques de la végétation telles que la hauteur des arbres, le volume, ou encore la biomasse (Müller and Brandl 2009 ; Heinzl and Koch 2011, Betbeder, 2015). Selon GFOI, 2014, les Lidars pourraient être utilisés pour vérifier les évaluations quant à la biomasse et pour réduire la nécessité d'échantillonnages au sol de ces évaluations, en particulier dans des zones où l'accès par voie terrestre est difficile, donc coûteux. Hansen et al, 2016, ont conclu que l'utilisation de séries chronologiques denses de données optiques, dont des Landsat 7 et 8, pour étendre la valeur des mesures de la structure forestière du LiDAR est une frontière de recherche prometteuse. De même, Panzou et al, en 2016 ont estimé que pour améliorer les estimations de la biomasse et du carbone forestier en Afrique tropicale, il est prioritaire de mettre au point des techniques non destructives utilisant le LiDAR terrestre (*Terrestrial Laser Scanning – TLS*) pour permettre de reconstituer l'enveloppe d'un arbre en trois dimensions afin de réduire les

incertitudes liées aux estimations de la biomasse utilisant le volume des arbres et les équations allométriques.

1.4 LA TELEDETECTION ET LES STRUCTURES MONDIALES DE SURVEILLANCE DES FORETS

La surveillance systématique des changements sur la couverture forestière est une grande priorité pour plusieurs programmes et institutions nationaux et internationaux dont la Convention-cadre des Nations Unies sur le Changement climatique, (UNFCCC, 2002), l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) (FAO, 2010), le Global Observation for Forest and Land Cover Dynamics (GOFC-GOLD) (Townshend & Justice, 1988), le Global Climate Observing System (Mason & Reading, 2004), et le Global Change Research Program des Etats Unies (Michalak, 2011, Min Feng 2016). Plusieurs observatoires des forêts et programmes nationaux, régionaux et internationaux travaillent sur le sujet en s'appuyant sur les données de la télédétection pour fournir des informations pertinentes sur l'état de la couverture forestière mondiale au niveau de leur site web. L'observatoire mondial des forêts (Global Forest Watch) est par exemple une base de données très sophistiquée en système interactif en ligne destinée à suivre à l'échelle mondiale la déforestation liée à l'abattage illégal ou aux feux de défrichage. (www.globalforestwatch.org). Certains acteurs comme le Central Africa Program for the Environment et le Global Forest Atlas ont choisi par ailleurs de se focaliser sur les grands blocs forestiers mondiaux comme l'Amazonie, les forêts centrafricaines et les forêts boréales. Des arrangements institutionnels mondiaux sont aussi mis en place pour coordonner le suivi des ressources forestières à l'instar du :

- Groupe des observations de la Terre (GEO), un mécanisme intergouvernemental pour coordonner l'ensemble des systèmes existants et futurs d'observation de la Terre y compris les satellites et mettre en œuvre un « Système des systèmes mondiaux d'observation de la Terre » (GEOSS).
- Global Observation for Forest Cover and Land Dynamics (GOFC/GOLD), un effort international coordonné visant à fournir des observations spatiales et in situ continues de la surface terrestre pour la gestion durable des ressources terrestres et à obtenir une compréhension quantitative précise et fiable du budget du carbone terrestre. (<http://www.gofcgold.wur.nl/>).
- Le GTOS (Global Terrestrial Observing System), un programme d'observation, de modélisation et d'analyse des écosystèmes terrestres pour soutenir le développement durable. Le GTOS facilite l'accès à l'information sur les écosystèmes terrestres afin que

les chercheurs et les décideurs puissent détecter et gérer les changements environnementaux mondiaux et régionaux. (<http://www.fao.org/gtos/NPP.html>)

1.5 LA TELEDETECTION ET LE SUIVI DES FORETS A MADAGASCAR

L'une des particularités de Madagascar tient à ce que la gestion de la presque totalité des aires protégées est (ou sera) assurée par la société civile (CEPF, 2014). Les forêts hors aires protégées sont par ailleurs soit sous transfert de gestion avec les communautés locales soit des domaines privés. La fonction de monitoring systématique des ressources forestières est à cet effet assurée par les gestionnaires délégués des ressources forestières. Ces derniers sont plus attachés au système de patrouille terrestre et de suivi sur terrain avec utilisation de GPS pour la gestion des données à travers une base de données de Système d'Information Géographique. Le recours à des images satellitaires ou des capteurs aéroportés est souvent conditionné par les exigences des financeurs de la protection de l'étendue forestière comme pour le cas des financements carbonés. Toutefois, l'Etat Malagasy dispose : i) d'un Office National pour l'Environnement (ONE) dont la mission est entre autres la gestion du système d'informations environnementales, du suivi et de l'évaluation de l'état de l'environnement, ainsi que ii) d'un Observatoire National de l'Environnement et du Secteur Forestier (ONESF) pour la collecte, l'analyse, la diffusion et le suivi de l'évolution et des informations et données environnementales et forestières. Malgré leurs rôles ces deux institutions n'ont pas de dispositif pour assurer le suivi systématique et régulier de l'état des ressources forestières Malagasy. C'était avec la Convention sur la Diversité Biologique à laquelle Madagascar adhère que des cartographies de la déforestation à l'échelle nationale ont pu être faites et partagées par l'ONE pour la période de 2005 à 2010 à partir des séries Landsat. Des initiatives de la société civile environnementale existent aussi pour le partage des données cartographiques des ressources naturelles à Madagascar telles que Réseau de la Biodiversité de Madagascar (<http://www.rebioma.net/>), la cartothèque du secteur de Cartographie de l'IRD (<http://sphaera.cartographie.ird.fr/tableaux/assemblage/MDG0.html#SE>) et le site « Royal Botanic Garden » (<http://www.kew.org/gis/projects/madagascar/download.html>).

1.6 L'ÉVALUATION ET LE SUIVI DES FLUX DE CARBONE DANS LE MONDE ET A MADAGASCAR

Des décennies d'images satellites Landsat permettent de suivre les changements de la couverture forestière dans le monde. Les principales sources de flux de carbone forestier tels que le

changement de couverture et d'utilisation des sols et les grandes perturbations des écosystèmes comme les feux sont détectables et caractérisables avec les séries landsat. A travers un ensemble de données basé sur les images Landsat, les chercheurs peuvent suivre la disparition de la couverture arborée par l'exploitation forestière, les feux de forêt, les tempêtes de vent, les poussées d'insectes, la sécheresse, les mines, l'urbanisation, l'installation humaine et l'agriculture. De même, ils peuvent voir où les forêts ont repris pour les terres cultivées abandonnées et d'autres zones déjà perturbées. Pour le cas des forêts Nord-américaines, les données landsat sont utilisées avec d'autres instruments de télédétection pour mesurer le carbone qu'ils stockent. Avec les radars et les lidars, qui mesurent la hauteur de la végétation à partir des plates-formes satellites ou aériennes, les scientifiques peuvent calculer la quantité de biomasse, la quantité totale de matière végétale, comme les troncs, les tiges et les feuilles que ces forêts contiennent. Ensuite, des modèles qui examinent la vitesse de croissance ou de régression des forêts peuvent calculer l'absorption et la libération de carbone dans l'atmosphère (NASA, 2015). Pour la plupart des forêts tropicales, l'évaluation et le suivi de la biomasse aérienne font appel à la cartographie des changements de la couverture forestière (à travers les séries landsat ou autres images satellites) associée soit aux données lidar qui sont calibrées par des données de terrain soit aux données des inventaires forestiers.

Pour le cas de Makira, des images de landsat-5 de 1996, 2000, 2001, 2005 et 2006 sont utilisées pour cartographier la couverture forestière et les changements d'utilisation des terres afin de servir de référence pour des scénarios prospectifs. Ces données sont ensuite associées aux données des inventaires forestiers obtenus par échantillonnage. Puis une des équations allométriques de Chave et al pour les forêts pan tropicales a permis d'estimer la biomasse aérienne. L'ensemble de ces données ont alors permis de construire la situation de référence et les scénarios futurs en matière de séquestration de carbone de la zone Makira.

CHAPITRE II : METHODOLOGIE

2.1 LE CHOIX DE LA ZONE D'ETUDE

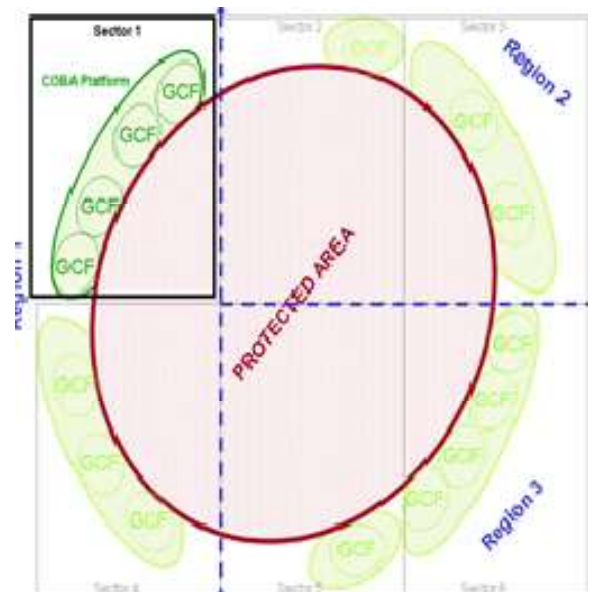
2.1.1 Les critères de choix

La zone Makira est une des plus grande étendue de forêt dense humide restante au niveau du biome des forêts tropicales humides de Madagascar (WCS, 2008). Son étendue et son emplacement lui permettent d'assurer le rôle de refuge pour des espèces à grandes exigences ainsi que d'accroître la résilience des aires protégées du Nord Est de Madagascar en maintenant leur connectivité. Cette zone est par ailleurs un vrai bastion de la biodiversité, avec un taux d'endémisme élevé. Le noyau dur de l'AP abrite entre autres 469 espèces forestières, 20 espèces de lémuriens, 20 espèces de micromammifères, 06 espèces de carnivores, 125 espèces d'oiseaux, 104 d'espèces de reptiles, 117 espèces d'amphibiens (WCS, 2015). Le choix de travailler sur cette zone est d'abord guidé principalement par son importance pour la conservation de la biodiversité et ses fonctions écologiques.

La zone Makira a été aussi choisie pour tester le financement à long terme de la conservation à travers la vente des crédits de carbone. Il s'agit d'une des premières expériences REDD+ à Madagascar. Dans ce cadre la GCF est utilisée pour former un réseau de terroir communautaire sous gestion durable et qui va constituer la zone de protection de l'AP Makira. La zone de protection appelée aussi ceinture verte est alors une ceinture de sécurité qui préserve l'intégrité de l'AP Makira car en intégrant ce qui est autour dans la dynamique de préservation il y aura conservation de ce qui est à l'intérieur. Cette stratégie est illustrée par le schéma d'aménagement synthétique de l'AP sur la figure 1 ci-contre.

Depuis 2009, un accord pour la dotation de 50% des revenus carbonés aux communautés locales engagées dans les GCF a été signé entre l'Etat malagasy et le gestionnaire délégué du noyau dur de l'AP qu'est le WCS. Ce financement vise à compenser ces communautés pour leur initiative, à soutenir les actions de surveillance et de protection de leur site et à stimuler l'adhésion des

Figure 1 : Schéma d'aménagement synthétique de l'AP Makira



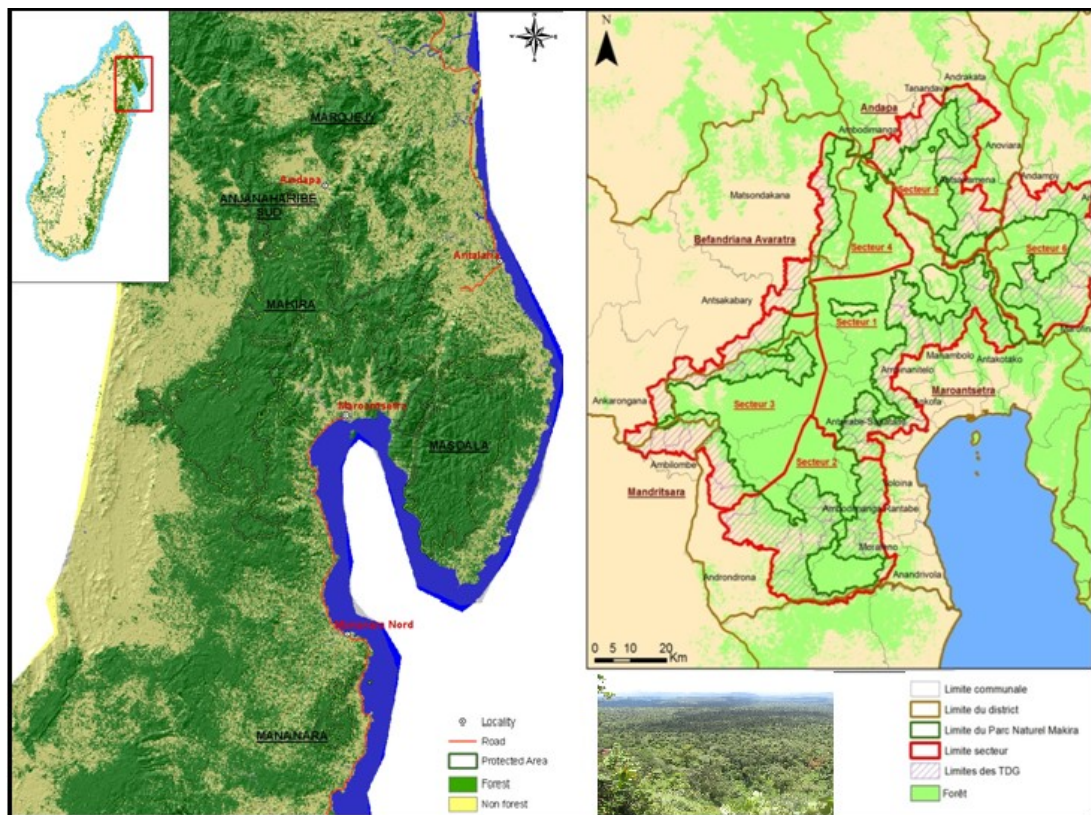
Source : WCS, 2009

autres communautés en stade de refus d'intégrer dans le système. Ce financement a été effectif depuis l'année 2015.

Travailler sur la zone Makira revêt à cet effet un aspect de grande valeur dans le monde de l'environnement étant donné les innovations en matière d'outils et de dispositifs de la conservation qui sont éprouvés dans cette zone.

La carte ci-dessous illustre Makira dans son paysage et l'AP entourée des terroirs communautaires potentiels pour le transfert de gestion des ressources naturelles(TDG) aux communautés locales en vue de constituer la ceinture verte.

Carte 1 : Zone Makira



Source : Auteur (adapté de WCS, 2011 et WCS,2015)

2.1.2 L'échantillonnage des sites

Etant donnée la grande étendue de la zone Makira, le noyau dur est de 372 470ha tandis que la zone de protection est de 335 173ha, il a été estimé plus pertinent que l'étude se focalise d'abord sur l'efficacité des GCF dans les terroirs communautaires contractants et de leur influence sur ceux, voisins, qui n'ont pas le même type d'engagement. Certes, l'effet de ces sites GCF sur la protection de la zone de noyau dur de l'AP Makira qui leur est adjacent est aussi un domaine

d'étude important mais étant donné le délai imparti pour le travail et la disponibilité d'image à faible nébulosité pour cette zone, ce sujet n'a pas pu être traité. Par ailleurs, en plus de la ceinture verte de protection, le noyau dur de l'AP Makira fait objet d'autres mesures de protection directement appliquées par le gestionnaire délégué. Ce qui fait que d'autres outils de gestion agissent avec le GCF pour la protection de cette partie de la zone Makira.

Ensuite, vu le délai imparti pour le TFE, la réalisation d'un travail exhaustif pour la totalité des quatre-vingt-dix terroirs communautaires peut nuire à la qualité du traitement car les traitements sont volumineux et les images ne sont pas toujours disponibles. Aussi, un échantillonnage de sites a été fait selon les critères suivants :

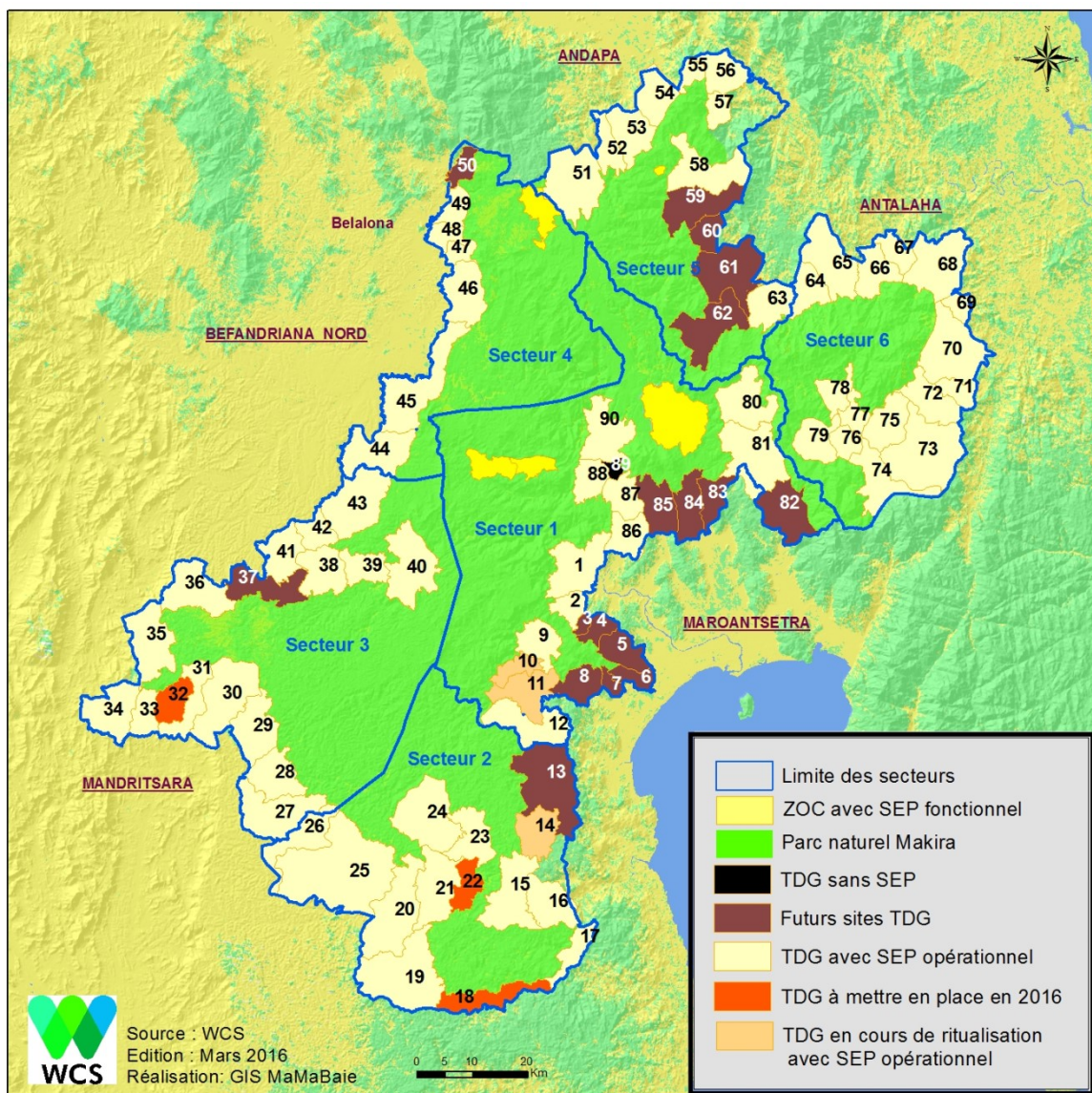
- L'ancienneté des sites de GCF ;
- La focalisation géographique sur une unité homogène,
- La possibilité de comparaison entre sites sous GCF et sans GCF, et,
- La disponibilité des images.

Au regard de ces critères, l'échantillon retenu est composé de dix sites au niveau du secteur 1 de la ceinture verte de Makira. Le secteur est un découpage géographique selon la similarité du contexte socio-économique et environnemental de chaque zone que le gestionnaire utilise pour mener ces activités. Le secteur 1 comprend vingt-trois terroirs communautaires dont onze avec GCF, treize sans GCF. L'échantillon pris est composé de sept sites de GCF et trois sans GCF. Cet échantillon peut être subdivisé en trois groupes dont :

- le premier groupe plus au Nord-Est est composé de 4 sites de GCF d'une dizaine d'année dont Antseranana, Anjiamazava, Andaparaty et Antsahabe;
- le second groupe au milieu est composé de deux sites de GCF de 12 ans, Marovovonana et Ambalamahogo, et d'un site sans GCF, Ambinanitelo, qui leur est adjacent;
- le troisième groupe est composé de d'un site de GCF de 12 ans, Anjiahely, et de deux sites de sans GCF, Ambinanin'Ankora et Vinanibe qui lui est adjacent.

Les cartes, carte n°2 et carte n°3, suivants illustrent respectivement la situation des GCF (ou TDG) dans la ceinture verte de Makira et l'échantillon de sites pris pour l'étude.

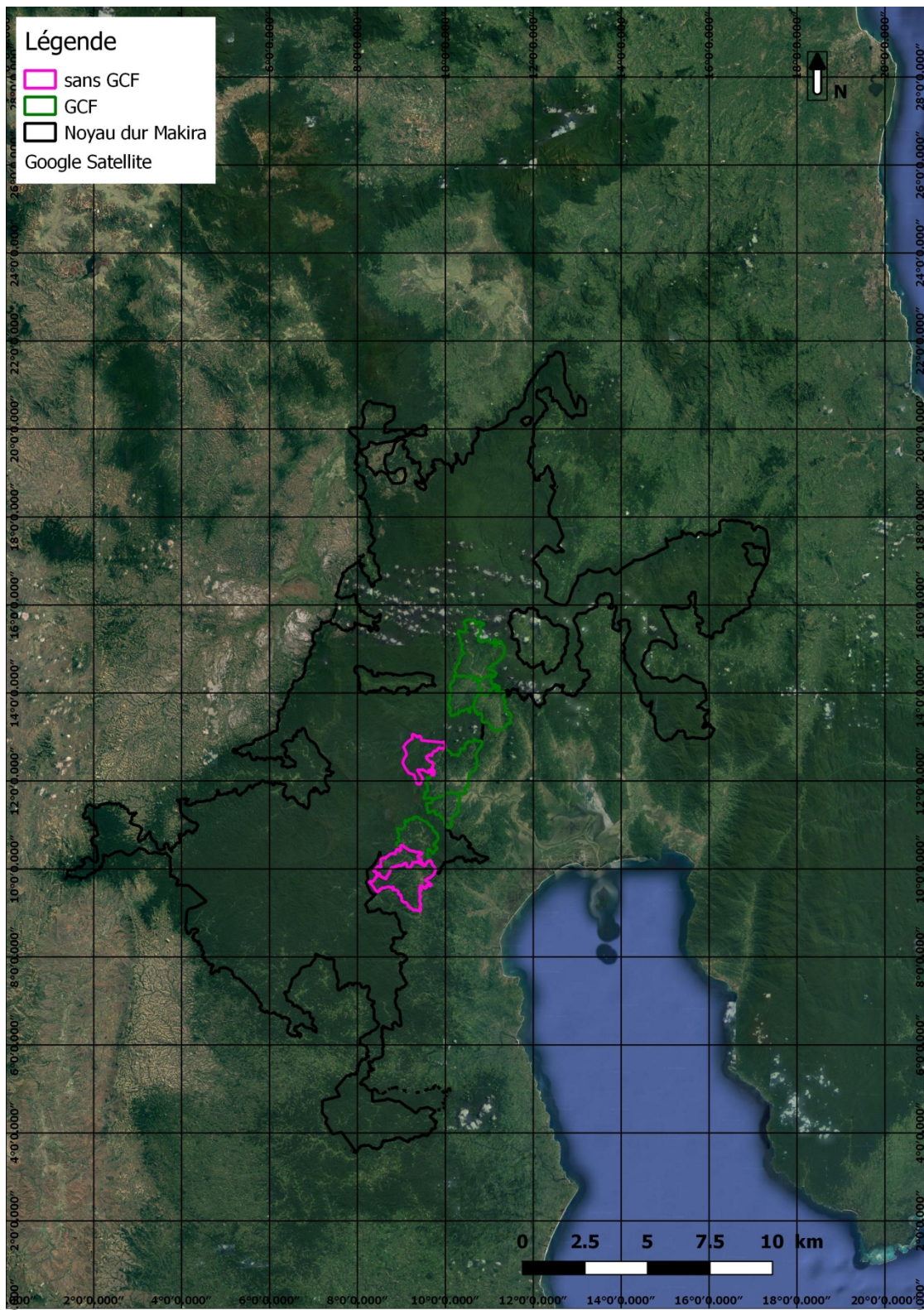
Carte 2 : Situation des TDG de la ceinture verte de Makira



STATUT DES SITES TDG	Secteur 1	Secteur 2	Secteur 3	Secteur 4	Secteur 5	Secteur 6	TOTAL
TDG Operationnel avec SEP fonctionnel	10	10	15	6	9	16	66
TDG Operationnel sans SEP	1						1
TDG en cours de ritualisation et avec SEP	2	1					3
TDG à mettre en place ce 2016		2	1				3
Futur TDG (Refus)	3	1	1	1	4		10
Futur TDG	7						7
TOTAL (90 sites)	23	14	17	7	13	16	90

Source : WCS, 2016

Carte 3 : Echantillon des sites pris pour l'étude



Source : Auteur, 2017

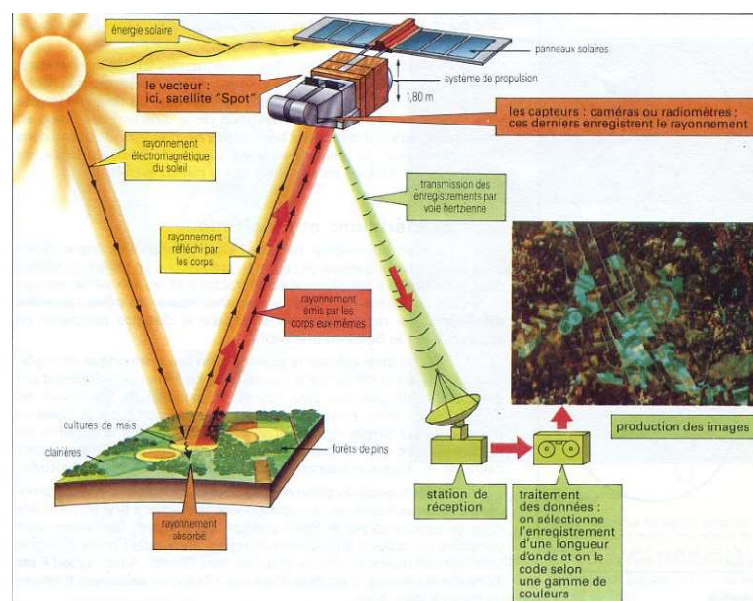
2.2 LA RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

La bibliographie est fondamentale pour ce travail. Elle intervient dans toutes les étapes de la réalisation de l'étude. Au début du travail, la bibliographie a été utilisée pour définir le contexte de l'étude dans tout ces aspects et ainsi de mieux cerner la problématique. Elle a permis d'avoir un aperçu des connaissances et expériences dans le monde et au niveau local en matière de suivi environnemental par la télédétection. Elle a ainsi alimenté la réflexion sur le choix des matériels et méthodes à utiliser tout au long de l'étude. La discussion des résultats ainsi que les recommandations sont aussi nourries par la richesse de la littérature.

2.3 LA TELEDETECTION, LA RECHERCHE D'IMAGES ET DE DONNEES SIG

2.3.1 La télédétection

La télédétection est l'outil fondamental de cette étude. Les images de la télédétection sont utilisées comme des inputs de base. Elles fournissent les informations permettant d'étudier la dynamique de la couverture forestière. Aussi l'historique de l'usage et de l'occupation des sols peut être constitué à travers les données de la télédétection. « *La télédétection est une technique qui, par l'acquisition d'image permet d'obtenir des informations sur la surface de la Terre sans contact direct avec celle-ci. La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et à enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et à analyser l'informations, pour ensuite mettre en application l'information* » (Tychon, 2015). Le principe de la télédétection spatiale est illustré par le schéma ci-dessous :



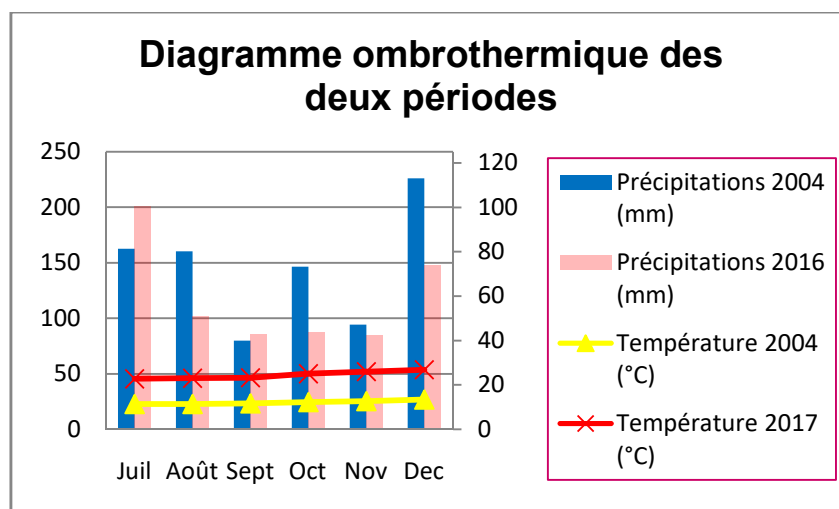
Source : <http://www.alertes-meteo.com/>

2.3.2 Le choix des images de télédétection

Le premier critère de choix des images de télédétection est la disponibilité d'une série temporelle permettant de constituer l'historique de la couverture forestière et de l'usage des sols dans la zone d'étude. Ainsi, les images utilisées dans le cadre de cette étude sont les images satellitaires Landsat. Certes, ce programme américain de télédétection spatiale est connu comme le premier programme civil d'observation de la Terre par satellite. Il fournit ainsi le plus long historique de l'évolution de l'occupation des sols. Il a commencé avec le lancement du premier LANDSAT en 1972 et se poursuit encore actuellement avec Landsat 8. Les archives Landsat sont accessibles gratuitement depuis 2009.

Les autres critères de choix sont relatifs à la qualité des images et à leur comparabilité. Il s'agit alors de veiller à réduire les biais éventuels dus à la nébulosité ainsi qu'à la différence des conditions végétales. Le taux de couverture nuageuse est inférieur à 10% pour les images choisies. Aussi, la date de prise de la première image est le 27/01/2005 tandis que la seconde image est du 05/02/2017. Les conditions végétales sont estimées comme similaires pour ces neuf jours de décalage entre les deux prises. Les années de prises des images sont l'année du début de la mise en place des contrats de Gestion Contractuelle des Forêts pour les terroirs communautaires de la zone (2005) et l'année 2017 qui est l'équivalent de plus de dix ans de GCF pour la majorité de ces sites. La figure ci-dessous renseigne sur les conditions climatiques pour les six mois précédents les prises des images. Les données climatiques disponibles sont pour l'échelle régionale.

Figure 2 : Diagramme ombrothermique des six mois précédents les prises d'images



Source des données : <https://fr.tutiempo.net/climat>

Source : Auteur, 2017

Les images retenues pour l'étude sont alors :

- (i) une image du 27/01/2005 de Landsat 7 utilisant le capteur ETM+.

LANDSAT 7 est équipé d'un capteur multispectral (Enhanced Thematic Mapper Plus - ETM+) et a une capacité de revisite de 16 jours. Le scanner ETM+ est une évolution des TM précédents. Il comporte une large bande panchromatique à haute résolution.

Bande	Bande spectrale	Résolution	Utilisation
1	0,45 - 0,515 µm (bleu)	30 m x 30 m	Différenciation sol / végétaux, zones côtières
2	0,525 - 0,605 (vert)	30 m x 30 m	Végétation
3	0,63 - 0,69 µm (rouge)	30 m x 30 m	Différenciation des espèces végétales
4	0,75 - 0,90 µm (proche IR)	30 m x 30 m	Biomasse
5	1,55 - 1,75 µm (SWIR)	30 m x 30 m	Différenciation neige/nuage
6	10,4 - 12,5 µm (TIR)	60 m x 60 m	Thermique
7	2,09 - 2,35 µm (SWIR)	30 m x 30 m	Lithologie
PAN	0,50 - 0,90 µm	15 m x 15 m	

Source : <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-7/>

- (ii) une image du 05/02/2017 de Landsat 8 utilisant les capteurs OLI-TIRS. Le Landsat 8 a été lancé en 2013 et est équipé d'un capteur multispectral appelé Operational Land Imager (OLI) et Thermal Infrared Sensor (TIRS). Il a une capacité de revisite de 16 jours. Ci-dessous les caractéristiques de ces capteurs :

Capteur OLI

Bande	Bande spectrale	Résolution	Domaine
1	0,43 - 0,45 µm	30 m x 30 m	Visible
2	0,45 - 0,51	30 m x 30 m	Visible
3	0,53 - 0,59 µm	30 m x 30 m	Visible
4	0,64 - 0,67 µm	30 m x 30 m	Red
5	0,85 - 0,88 µm	30 m x 30 m	Near-Infrared
6	1,57 - 1,65 µm	30 m x 30 m	SWIR
7	2,11 - 2,29 µm	30 m x 30 m	SWIR2
PAN	0,50 - 0,68 µm	15 m x 15 m	Panchromatic
Cirrus	1,36 - 1,38 µm	30m x 30 m	

▪ Capteur Thermal Infrared (TIRS)

Bande	Bande spectrale	Résolution	
10	10,6 -11,19 μm	100 m x100 m	TIRS 1
11	11,5 -12,51 μm	100 m x100 m	TIRS 1

Source : <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/>

2.3.3 La collecte des données SIG

Le WCS dispose déjà de données vecteurs sur la zone Makira. Il s'agit d'un ensemble de polygones traçant la limite de l'Aire Protégée ainsi que des quatre-vingt dix sites de terroirs communautaires composant la zone de protection avec leurs attributs. Le système de coordonnées de référence de ces données est l'ESPG : 4326, WGS 84. Ces données sont utilisées comme fond de carte dans le cadre de la présente étude.

2.4 LOGICIELS UTILISES

Le logiciel ENVI (Environment for Visualizing images) constitue le matériel utilisé pour les prétraitements et les traitements des images satellites. Les étapes de visualisation et de prétraitement de données ainsi que les analyses diachroniques des indices de végétation et de changement d'occupation du sol sont principalement faites avec ce logiciel.

Le logiciel QGIS est ensuite utilisé pour les analyses des données rasters et vecteurs ainsi que la présentation des résultats.

2.5 LES PRETRAITEMENTS DES IMAGES

Les prétraitements ont pour objectif de préparer les images aux divers traitements thématiques par après. Quatre étapes de prétraitement ont été nécessaires :

- La décompression des images puis leur importation sur ENVI ;
- Les combinaisons des bandes spectrales des images ou « layer stacking » afin de disposer pour chacun des deux images une image unique multi-bandes. Le but étant de faciliter la manipulation car l'ensemble des traitements peut s'appliquer simultanément sur l'ensemble des bandes spectrales regroupées de l'image résultante ;
- Le découpage de l'image sur la zone d'intérêt par le *spatial subset* qui donne une image plus focalisée sur la zone d'intérêt mais qui comprend encore une portion de zones en dehors des limites géographique des sites étudiés;
- Le *masking* des zones extérieures aux limites des sites étudiés en utilisant le *shapefile* des limites des sites étudiés.

2.6 LE MASKING DES NUAGES

Pour cette étude, tous les nuages ont été masqués pour toutes les analyses et de ce fait les pixels pris en compte sont ceux non corrompus par la nébulosité. Par ailleurs, pour les analyses comparatives, le masque fusionné des nuages de chaque prise a été utilisé afin que les pixels couverts de nuages pour une des images ne soient considérés comme ayant de valeur dans l'autre et faussent ainsi les quantifications de changement. Pour ce faire, les nuages et ombres de nuages ont été vectorialisés sur ENVI pour chacune des deux images (2005 et 2017). Ces deux shapefiles sont ensuite fusionnés sur QGIS pour constituer un seul shapefile de nuages. Ce nouveau shapefile est ensuite utilisé pour faire le masking sur ENVI.

2.7 LA DETECTION DU CHANGEMENT TEMPOREL DES NDVIS

L'indice de végétation « NDVI » ou « Normalized Difference Vegetation Index » exprime l'activité chlorophyllienne des végétaux et constitue une mesure de la quantité et de la vitalité de la végétation présente sur le sol dans une zone donnée (Tychon, 2015). Aussi, cette étape a pour objet de comparer l'état de la couverture végétale de l'année 2005 par rapport à celui de 2017. Il s'agit d'appréhender la régression ou l'accroissement de la végétation en termes de quantité et de qualité. Les différences d'état de la végétation de l'année 2017 sur l'année 2005 seront alors identifiées, décrites et quantifiées.

En 2008, la couverture forestière de la zone Makira est de 86% et la densité de la population est de 41 habitant/km² (WCS, 2008). Ce qui est légèrement supérieure à la moyenne nationale. Cette population est en quasi-totalité agriculteurs où la riziculture occupe une place socioculturelle prépondérante en étant la principale activité de la population et aussi leur aliment de base. La riziculture par abattis-brûlis est identifiée comme cause principale de la déforestation dans la zone Makira (WCS, 2008, WCS, 2015). Elle consiste à couper les arbres, puis les brûler et convertir la parcelle pour la culture de riz pluvial. La parcelle est alors cultivée pendant trois ou quatre ans puis abandonnée. La régénération de la couverture végétale sur ces parcelles donne naissance à des *Savoka* qui sont des formations secondaires constituées par un peuplement d'arbustes. Les changements de NDVI permettront de renseigner sur de telles pressions.

De manière plus illustrée, l'indice NDVI exprime la différence des réflectances spectrales dans les longueurs d'onde du proche infrarouge (PIR) et du rouge (Denis A., 2015). Elle s'obtient par la formule suivante :

$$\text{NDVI} = \frac{\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{R}}}{\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{R}}}$$

Où : ρ_R : réflectance dans la bande rouge

ρ_{NIR} : réflectance dans la bande proche infrarouge

La normalisation de la différence de réflectances par la somme des deux bandes permet de réduire les effets d'éclairement ainsi cette indice conserve une valeur constante quelque soit l'éclairement global. Les valeurs du NDVI sont en théorie entre -1 et +1, les valeurs négatives correspondant aux surfaces autres que les couverts végétaux, comme la neige, l'eau ou les nuages, pour lesquelles la réflectance dans le rouge est supérieure à celle du proche infrarouge (Denis, 2015). Pour les sols nus le NDVI présente des valeurs proches de 0 comme les réflectances sont à peu près du même ordre de grandeur dans le rouge et le proche infrarouge. Les formations végétales ont des valeurs de NDVI positives, généralement comprises entre 0,1 et 0,7 - les valeurs les plus élevées correspondant aux couverts les plus denses (UVED, 2008).

2.7.1 Transformation des DNs en réflectance sur Landsat7

Les satellites Landsat 7 et Landsat 8 utilisent des capteurs différents dont respectivement ETM+ et OLI-TIRS. Cette différence de capteurs utilisés ne permet pas la comparabilité des Digital Number (DN) pour le calcul des NDVIs. Pour permettre la comparabilité, la conversion des DNs en des valeurs de réflectance en utilisant les coefficients du fichier de métadonnées est nécessaire. La méthode utilisée pour cette étude est celle proposée par Yale University sur le site web du Yale University/Center for Earth Observation (lien : <http://yceo.yale.edu/how-convert-landsat-dns-top-atmosphere-toa-reflectance>).

Avec Landsat7 deux étapes sont à mettre en œuvre : la conversion des DNs en valeurs de radiance puis la conversion des valeurs de radiance en valeur de réflectance (Yale University, 2017).

2.7.1.1 La conversion des DNs en valeurs de radiance (ou luminance) ou Spectral Radiance Scaling Method

La formule utilisée est comme suite :

$$L_{\lambda} = ((LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}) / (QCALMAX - QCALMIN)) * (QCAL - QCALMIN) + LMIN_{\lambda}$$

L_{λ} est la valeur de radiance (ou luminance)

QCAL = digital number

$LMIN_{\lambda}$ = spectral radiance à l'échelle de QCALMIN

$LMAX_{\lambda}$ = spectral radiance à l'échelle de QCALMAX

QCALMIN = Valeur minimum de pixel calibré quantifié

QCALMAX = Valeur maximum de pixel calibré quantifié

2.7.1.2 La conversion des valeurs de radiance en valeur de réflectance ou Radiance to ToA Reflectance

La formule appliquée est la suivante :

$$\rho_{\lambda} = \pi * L_{\lambda} * d^2 / ESUN_{\lambda} * \cos \theta_s$$

Où ρ_{λ} = Valeur de réflectance au sommet de l'atmosphère

L_{λ} = Radiance spectrale

d = distance Terre-Soleil en unité astronomique

$ESUN_{\lambda}$ = Irradiance exoatmosphérique solaire moyenne

θ_s = angle zénithal solaire

2.7.2 Transformation des DNs en réflectance sur Landsat8

Avec Landsat8, la conversion des DNs en valeurs de réflectance se fait avec la formule suivante :

$$\rho_{\lambda'} = M\rho Qcal + A\rho$$

Où $\rho_{\lambda'}$ = Valeur de réflectance, sans correction d'angle solaire.

$M\rho$ = Band-specific multiplicative rescaling factor from metadata (REFLECTANCE_MULT_BAND_x, où x est le numéro de la bande)

$A\rho$ = Band-specific additive rescaling factor from metadata (REFLECTANCE_ADD_BAND_x, où x est le numéro de la bande)

$Qcal$ = Valeurs standard quantifiées et calibrées des pixels (DN)

Puis la correction de l'angle solaire se fait en utilisant la formule ci-dessous :

$$\rho_{\lambda} = \frac{\rho_{\lambda'}}{\cos(\theta_{SZ})} = \frac{\rho_{\lambda'}}{\sin(\theta_{SE})}$$

Où ρ_{λ} = Valeur de réflectance au sommet de l'atmosphère

θ_{SE} = Élévation solaire (SUN_ELEVATION).

θ_{SZ} = Angle zénithal solaire ; $\theta_{SZ} = 90^{\circ} - \theta_{SE}$

A noter qu'il s'agit également de la méthode suggérée par Yale University sur le site web du Yale University/Center for Earth Observation (lien : <http://yceo.yale.edu/how-convert-landsat-dns-top-atmosphere-toa-reflectance>).

2.8 L'ANALYSE DIACHRONIQUE DE L'EVOLUTION DES OCCUPATIONS DU SOL

La forêt de la zone Makira est formée par une forêt dense tropicale humide du biome des forêts tropicales humides de l'Est de Madagascar dont :

- une forêt dense humide sempervirente de basse altitude à l'Est, et,
- une forêt dense humide sempervirente de moyenne altitude plus à l'Ouest (WCS, 2015);

Ces deux groupes se différencient aussi par les principaux types de pressions auxquelles elles sont soumises suite à leurs contextes socioculturels et climatiques spécifiques. L'échantillonnage de sites prises pour l'étude comprend essentiellement la forêt humide de basse altitude à l'Est qui reçoit une précipitation moyenne de 3 500 mm de pluie par an et qui est de ce fait plus exposée à l'abattis brûlis pour la riziculture pluviale d'autant plus que la population de la zone est de l'ethnie Betsimisaraka ayant dans ses habitudes la riziculture pluviale et les cultures de rente (WCS, 2008).

La conduite de l'analyse diachronique des occupations du sol permet d'illustrer les impacts à différentes échelles temporelles des activités humaines en matière de structuration du paysage. Le paysage de la zone pour l'année 2005 est alors à comparer au paysage de 2017. Cette analyse comparative touche aussi bien les sites avec GCF que les sites sans GCF afin de mieux analyser la dynamique des occupations des sols avec les engagements du contrat de GCF. L'analyse diachronique comprend trois composantes fondamentales : la cartographie des occupations du sol, la matrice de transition et la matrice de confusion.

2.8.1 La cartographie des occupations du sol

Avec cette étape, les images satellitaires sont traitées afin de traduire les informations spectrales en classes d'occupation du sol et de sortir ainsi des cartes d'occupations du sol. Elle se base sur le postulat de la télédétection du rayonnement solaire réfléchi qui est que chaque objet (ou classe d'objets) a sa propre signature spectrale (Tychon, 2015). En d'autres termes, les classes d'occupations du sol sont définies par rapport à leur signature spectrale. Aussi, chaque signature spectrale forme une classe d'occupation de sol.

L'approche utilisée pour cette étude est l'approche par pixel. C'est-à-dire qu'à l'issue de cette classification tous les pixels ayant une même signature spectrale sont regroupés au sein d'une






même classe d'occupation de sol. Toutefois, dans la pratique à cause des variations des conditions d'illumination ainsi que les variations des propriétés des objets, les pixels appartenant à une classe d'objets sont représentés par une série de points plus ou moins dispersés dans cet espace (Tychon, 2015). Alors, la classification utilise des méthodes qui mobilisent des équations mathématiques permettant de localiser dans cet espace les limites de chacune des classes.

La méthode utilisée est ici la classification supervisée par la méthode de Maximum de vraisemblance ou *maximum likelihood*. C'est-à-dire, la ressemblance approximative des signatures spectrales détermine l'appartenance des pixels à une même classe d'occupation de sol. Cette méthode est d'une part basée sur la théorie probabiliste bayésienne avec la subjectivité et la certitude à priori dans l'identification des classes et des aires d'entraînement de validation, et d'autre part suppose que les classes sont distribuées de façon gaussienne. Elle s'effectue en trois grandes étapes :

- La définition des classes d'occupation de sol ;
- La calibration de la classification en utilisant des échantillons aires d'entraînement ou *Region of Interest* pour les différentes classes ; puis,
- La validation de la classification en utilisant des aires d'entraînement bien connues pour valider la classification.

Les classes retenues et leur description sont illustrées dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Classes d'occupation du sol

Classes	Description	Aperçu
« Forêt Dense »	<p>La forêt dense humide de basse altitude s'étendant entre 50 à 800 m d'altitude et dominée par la série à <i>Myristicaceae</i> et <i>Anthostema</i> (WCS, 2015)</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Forêt dense Makira</i></p>
« Forêt claire et plantations »	<p>Zones où les forêts ont fait objet de conversion en terrain de culture :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Les zones de défriches régénérées en <i>Savoka</i> (forêt claire) ; ▪ Les zones de cultures de rentes <p>Les girofliers, les cacaoyers, les caféiers et les tuteurs de vanille avec la chaleur et la forte humidité qui règne dans la zone, hormis leur caractère ligneux, créent aussi des sous-bois de verdure similaire à celle des forêts claires.</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Savoka sur versant</i></p>  <p style="text-align: center;"><i>Plantation de vanille</i></p>
« Villages et cultures vivrières »	<p>Les villages et les parcelles de cultures saisonnières et annuelles sont assemblés dans cette classe du fait de leur similarité en occasionnant une grande proportion de sol maintenu à l'état nu et/ou avec de très faibles couvertures végétales souvent non ligneuses</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Village</i></p>
« Eaux »	<p>Les ruisseaux, rivières, étangs et lacs</p>	
« Cultures de bas-fonds »	<p>Les rizières sur les bas-fonds et les cultures de décrues. Leur similarité est la présence à la fois d'une zone humide et de la végétation non ligneuse.</p>	

Source : auteur, 2017

L'étape de calibration se base sur les ROIs de calibration qui sont des échantillons de pixels représentatifs de chaque signature spectrale c'est-à-dire de chaque classe d'occupation de sol. Les règles générales pour la qualité de la classification à ce niveau sont:

- de sélectionner un minimum de 30 pixels représentatifs de chaque classe et un nombre suffisant d'aire d'entraînement ;
- de répartir les ROIs sur toute l'image pour une prise en compte des éventuels gradients de luminosité entre les différentes zones de l'image et de la légère différence spectrale entre une même classe d'occupation du sol dans des régions différentes ;
- d'avoir une courbe de distribution des pixels par classe unimodale. (Denis, 2015).

Des échantillons de ROIs qui sont des ROIs différentes de celles utilisées lors de la classification sont ensuite utilisés pour valider la classification. Les règles générales comme pour la création des ROIs de la classification sont aussi observées pour ces ROIs de validation mais cette fois avec une certitude à 100% dans la photo-interprétation. Il s'agit des ROI de validation. La validation permet de renseigner sur la qualité de la classification faite à travers la matrice de confusion. Les tableaux ci-dessous renseignent sur les ROI utilisées pour cette étape.

Tableau 3 : ROIs pour la classification de l'image de 2005

	Classes d'occupation du sol									
	Forêt dense		Forêt claire et plantations		Cultures de bas fond		Villages et cultures vivrières		Eaux	
	Pixel	ROI	Pixel	ROI	Pixel	ROI	Pixel	ROI	Pixel	ROI
Calibration	925	17	916	87	257	13	169	42	313	32
Validation	787	11	633	41	327	10	126	15	145	17

Source : Auteur, 2017

Tableau 4: ROIs pour la classification de l'image 2017

	Classes d'occupation du sol									
	Forêt dense		Forêt claire et plantations		Cultures de bas fond		Villages et cultures vivrières		Eaux	
	Pixel	ROI	Pixel	ROI	Pixel	ROI	Pixel	ROI	Pixel	ROI
Calibration	2499	22	1429	120	204	15	838	100	355	37
Validation	1326	15	1179	63	96	7	329	46	262	21

Source : Auteur, 2017

2.8.2 La matrice de confusion

La matrice de confusion donne une estimation numérique de la qualité de la classification faite. Elle permet d'évaluer la précision de la classification de manière globale et pour chacune des classes. Elle est calculée à partir des pixels correctement/incorrectement classifiés dans les zones de validation mais est sensée être représentative de la précision de la classification de l'ensemble de l'image (Denis, 2015). Le principe en est alors simple : comparer l'occupation du sol prédite (celle de la calibration, en lignes) à l'occupation du sol observée (celle du terrain, en colonnes) (Girard et Girard, 2010).

2.8.3 La matrice de transition

La matrice de transition est une méthode permettant de décrire de manière condensée, sous forme de matrice carrée, les changements d'occupation du sol d'une zone. Cette matrice ne contient pas d'informations sur la distribution spatiale des changements ni sur leurs causes mais tient uniquement compte de l'occupation du sol aux temps initial et final (Schlaepfer, 2002). Ainsi, une matrice de transition permet de mettre en évidence quantitativement l'évolution de l'occupation du sol à partir de 2 images classifiées pour chaque combinaison possible de 2 classes (Denis, 2015).

Pour cette étude, la matrice de transition est utilisée pour analyser l'évolution quantitative de chaque classe d'occupation du sol de l'année 2005 à l'année 2017. Plus spécifiquement, le but est de dresser un bilan net en matière de changement d'occupation de sol pour la période de 2005 à 2017 dont la quantification de la conversion des terrains forestiers en parcelle de cultures ainsi que la reprise de la forêt sur les terrains abandonnés par l'agriculture.

2.9 LES APPROCHES POUR L'ANALYSE DES RESULTATS

Pour mieux situer la déforestation dans sa dynamique, l'étude adopte à la fois une approche par la localisation des sites et par leur statut de gestion pour l'interprétation des résultats. L'échantillon d'étude est divisé en trois groupes de sites selon leur homogénéité géographique afin de caractériser la différence de dynamique au sein de chaque groupe de sites. Un premier groupe plus au nord-est est formé par quatre sites de GCF, puis au moyen est, un groupe mixte de deux sites GCF et un site sans GCF, et enfin plus au sud, un groupe mixte de deux sites sans GCF et un site GCF.

CHAPITRE III : RESULTATS

Comme dit plus haut pour une meilleure compréhension de la dynamique de la déforestation, les résultats sont analysés à la fois par rapport à la localisation des sites et à leur statut de gestion. Par ailleurs, tous les nuages ont été masqués pour toutes les analyses et de ce fait les pixels pris en compte sont ceux non corrompus par la nébulosité. Aussi, pour les analyses comparatives, le masque fusionné des nuages de chaque prise a été utilisé afin que les pixels couverts de nuages pour une des images ne soient considérés comme ayant de valeur dans l'autre et faussent ainsi les quantifications de changement.

3.1 Diminution des activités chlorophylliennes au niveau du groupe de sites de GCF

L'analyse comparative de l'évolution des indices NDVI au niveau du premier groupe formé par les quatre sites de GCF (Antseranana, Anjiamazava, Andaparaty, Antsahabe) montre une diminution visible de ces indices NDVI. D'une manière générale trois situations sont notables :

- Réduction apparente des zones ayant des indices NDVI élevés, supérieur à 0.75, (cf carte n°4, en couleur vert foncé);
- Eparpillement et augmentation des petites zones en vert clair et bleu qui correspondent à des valeurs de NDVI plus faibles ;
- Augmentation de taille des groupes de pixels formant des petits zones en vert claire et/ou bleu foncé et/ou bleu claire et/ou magenta.

Les petites zones en bleu foncé ont une valeur de NDVI de 0.30 à 0.40. Elles ont une taille moyenne d'environ neuf pixels (un pixel = 30m²) pour 2005 et quinze pixels en 2017. Ces groupes de pixels en bleu foncé sont souvent accompagnées de pixels en magenta de valeur de NDVI de 0.20 à 0.30 qui sont d'environ trois à six pixels additifs. Ils sont aussi accompagnés de pixels en bleu claire (NDVI, 0.40 à 0.50) de presque le même nombre que les pixels en bleu. Puis le tout est souvent entouré ou adjacent à des pixels en vert clair (NDVI, 0.50 à 0.60) qui ont une taille presque plus de deux fois plus que la totalité du petit ensemble bleu-vert-magenta. Cet ensemble, si en 2005 existe en un lieu est transformé en vert claire et/ou vert intermédiaire et ou vert foncé (NDVI de 0.50 à >0.75) en 2017 tandis que d'autres ensembles similaires de plus grande taille se créent à proximité.

En outre, les petites zones en vert clair sont de taille très variable même si elles apparaissent aussi en petits lots de pixels saupoudrés. Ces zones, en plus du fait qu'elles s'éparpillent de plus en plus 2017, ont aussi augmenté à plus de cinq fois leur taille unitaire.

La taille et la dynamique de ces deux groupes de petits lots de pixels laissent apparaître qu'elles peuvent résulter d'activités humaines qui en un certain moment agit sur le lieu puis se déplace pas loin pour entreprendre les même actions. La carte n°4 suivante illustre ces propos.

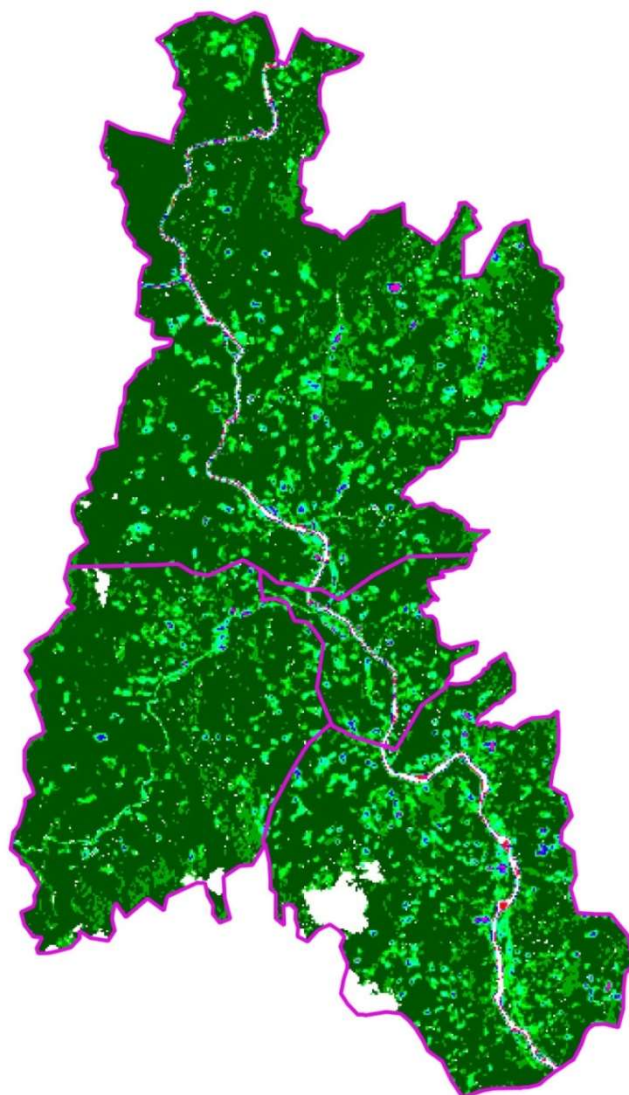
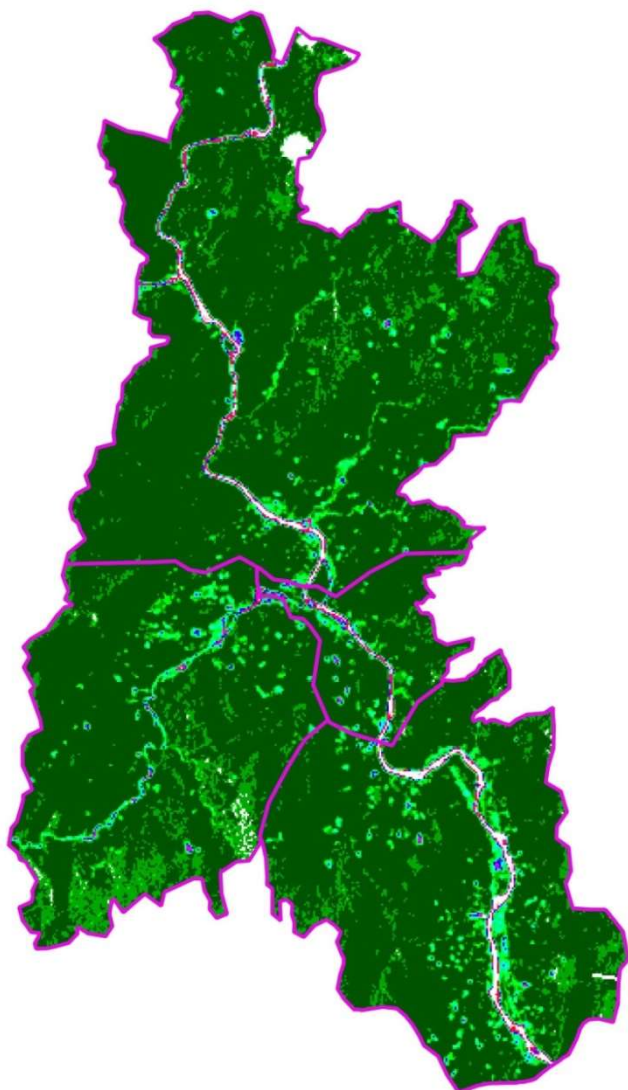
Carte 4. Evolution des indices NDVI du groupe de sites de GCF de la zone 1

Année 2005

- Sans GCF
- GCF

Année 2017

- Sans GCF
- GCF



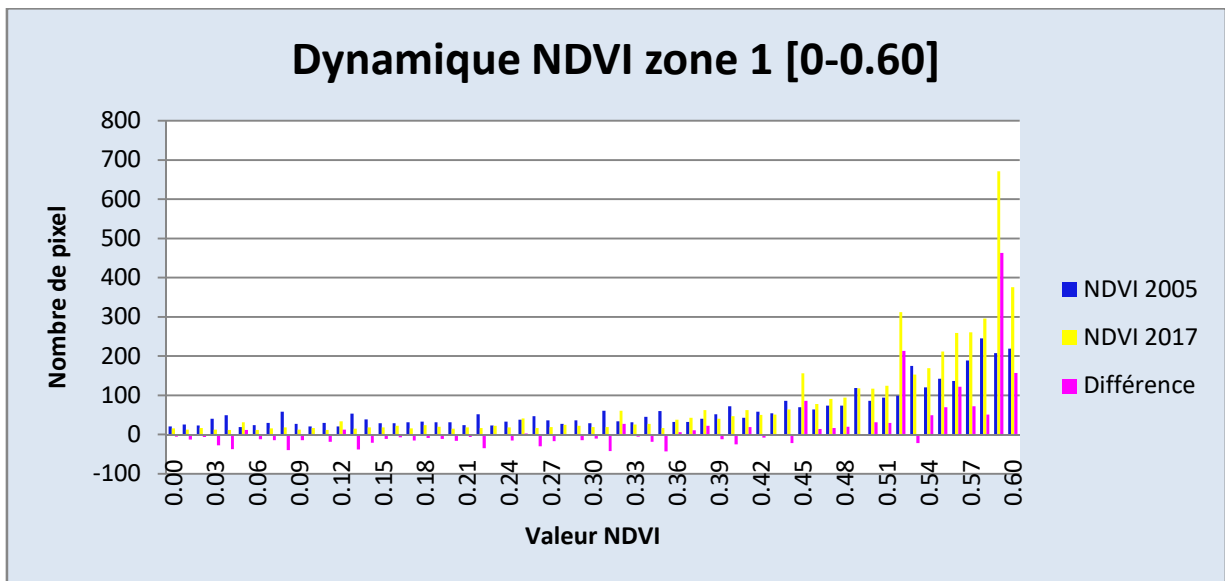
Couleur	Valeur NDVI
	> 0.75
	0.60 à 0.75
	0.50 à 0.60
	0.40 à 0.50
	0.30 à 0.40
	0.20 à 0.30
	0.00 à 0.20
	0.00

Couleur	Valeur NDVI
	> 0.75
	0.60 à 0.75
	0.50 à 0.60
	0.40 à 0.50
	0.30 à 0.40
	0.20 à 0.30
	0.00 à 0.20
	0.00

Source : Auteur 2017

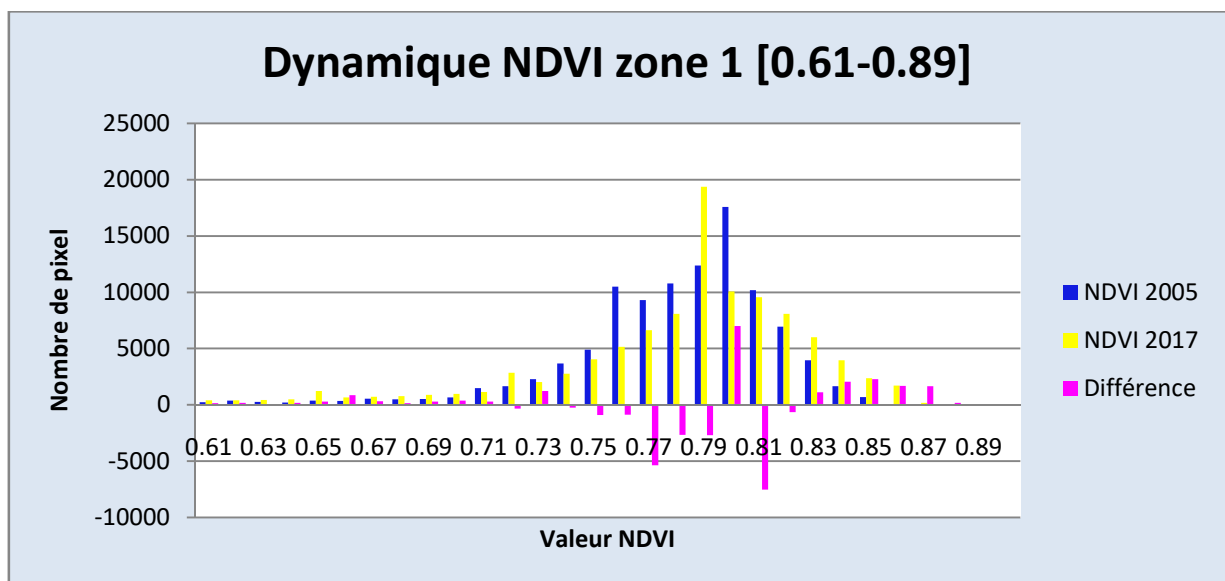
En procédant par l'analyse des profils de NDVI en 2005 puis 2017, il en résulte que la zone a réduit quantitativement sa valeur de NDVI total en 12 ans. Même si cette réduction n'est pas importante car de l'ordre de 1.02%, elle fait preuve de la dégradation des conditions végétales de la zone. En effet, au lieu d'observer une allure qui se déplace plus vers la droite pour l'année 2017 témoignant ainsi d'une augmentation des activités chlorophylliennes, elle semble être stationnaire avec de pixels à haute valeur de NDVI qui sont perdus et ne sont pas compensés par des pixels à plus haute valeur de NDVI. Les figures 3 et 4 ci-dessous donnent l'aperçu des profils NDVI de cette zone en 2005, 2017 et mettent en évidence leur différence.

Figure 3: Dynamique des NDVIs de la zone 1 (a)



Source : Auteur 2017

Figure 4: Dynamique des NDVIs de la zone 1 (b)

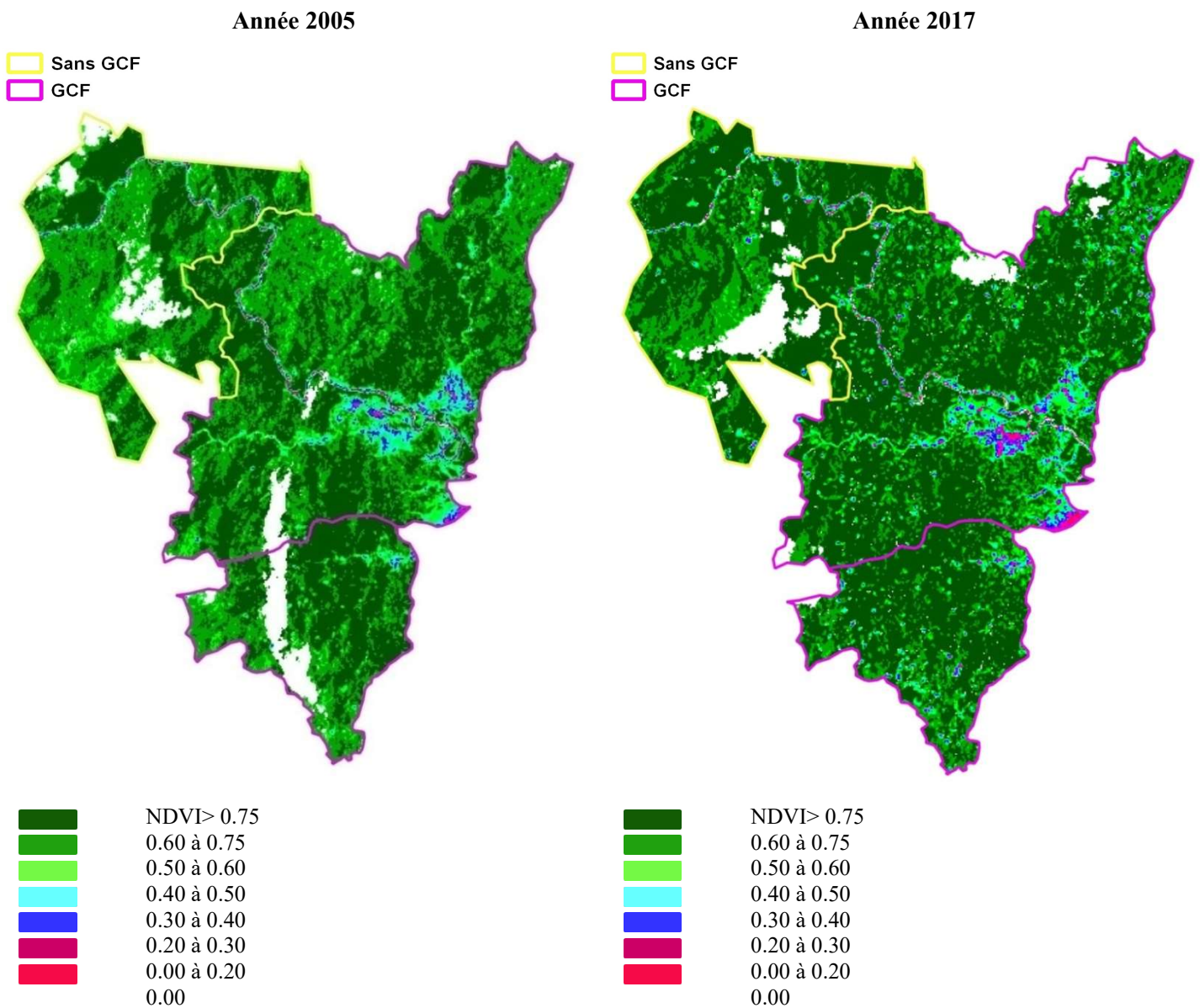


Source : Auteur 2017

3.2 Amélioration générale de la vitalité de la végétation dans la zone 2

Malgré l'apparition des petits lots de pixels vert clair à bleu claire et bleu foncé (NDVI de 0.20 à 0.60) au sein des blocs de zones à NDVI supérieur à 0.75, la verdure générale de la zone est plus affirmée en 2017. Ce qui témoigne d'une activité chlorophyllienne plus intense. Ces petits lots de pixels à NDVI faible sont plus nombreux au niveau de la partie nord-est et sud-est où ils ont tendance à être plus ou moins regroupés sur une même zone. La taille de ces petits lots de pixels à NDVI moins élevés est pourtant plus petite que celle du groupe de sites précédents. Ces lots sont d'environ en moyenne 15 pixels, (environ 500 m²) en tout (ensemble petite zone en vert clair et/ou bleus et ou magenta) soit moins de la moitié de celle du même type vu au niveau du groupe de quatre GCF. La carte n°5 illustre ces propos.

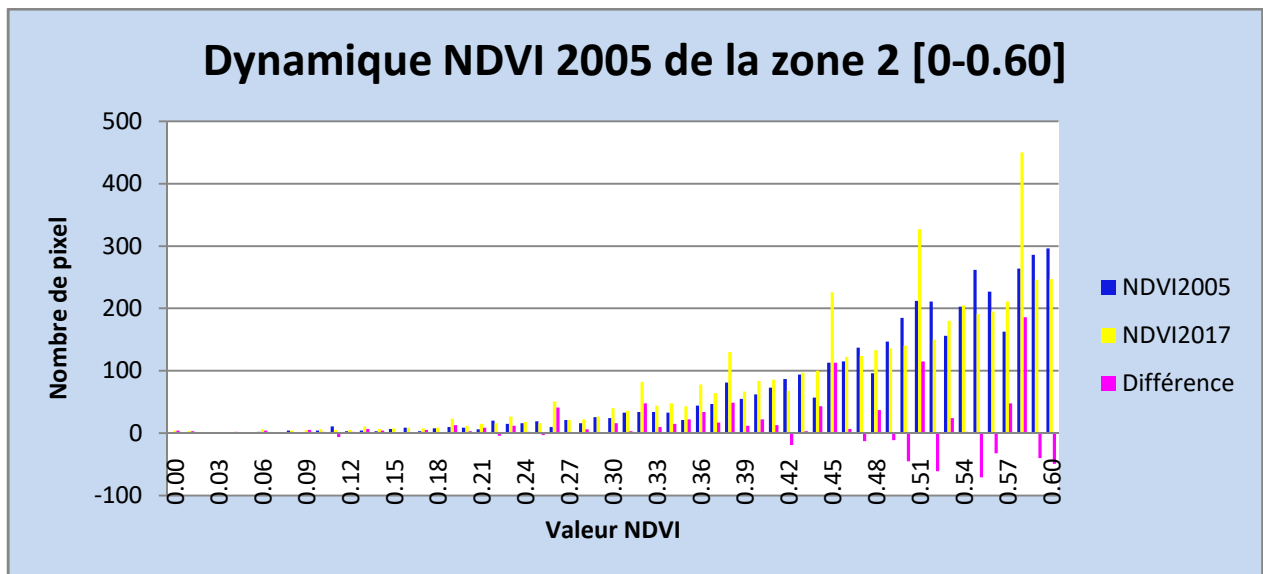
Carte 5: Evolution des indices NDVI de la zone 2



Source : Auteur, 2017

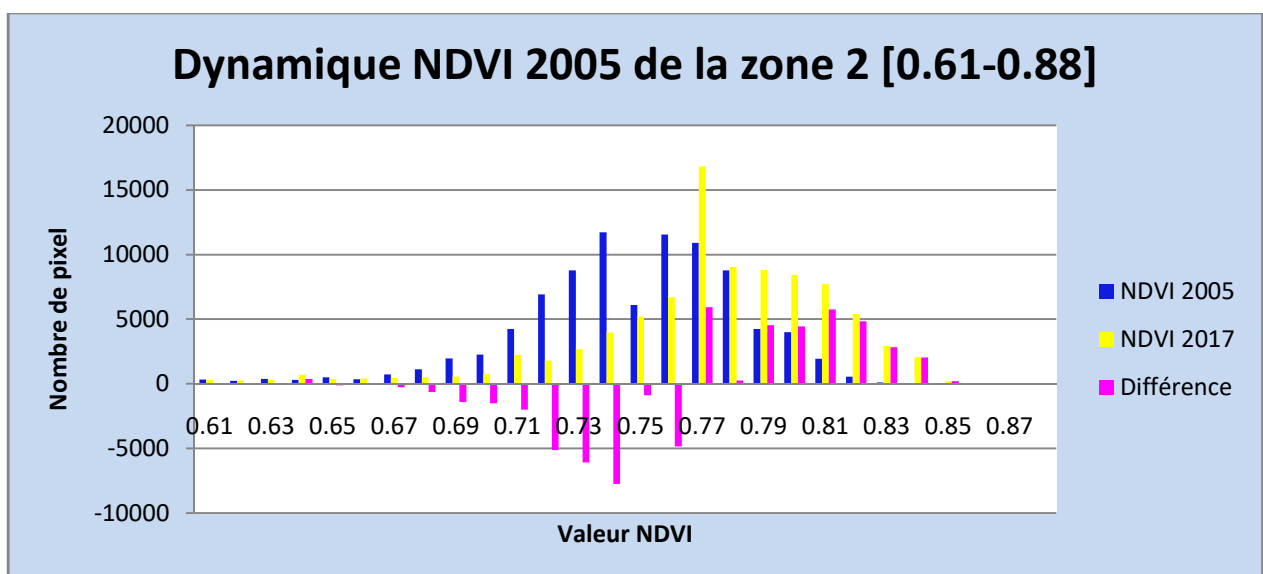
L'analyse quantitative des NDVI de cette zone renseigne par ailleurs, que la valeur totale des NDVI de la zone a augmenté de 4.08% par rapport à la situation de 2005. Ainsi, malgré la recrudescence de ces petites zones de NDVI faibles, les activités anthropiques de l'ensemble de ce site n'ont pas mené à la réduction des activités chlorophylliennes totales de la zone. Il est remarqué ici, un déplacement vers la droite du profil NDVI de 2017 par rapport à 2005. La figure 5 renseigne sur les changements quantitatifs des indices de NDVI de la rangée de valeurs [0-0.40] tandis que la figure 6 concerne la rangée [0.41-0.88]

Figure 5: Dynamique des NDVIs de la zone 2 (a)



Source : Auteur 2017

Figure 6: Dynamique des NDVIs de la zone 2 (b)

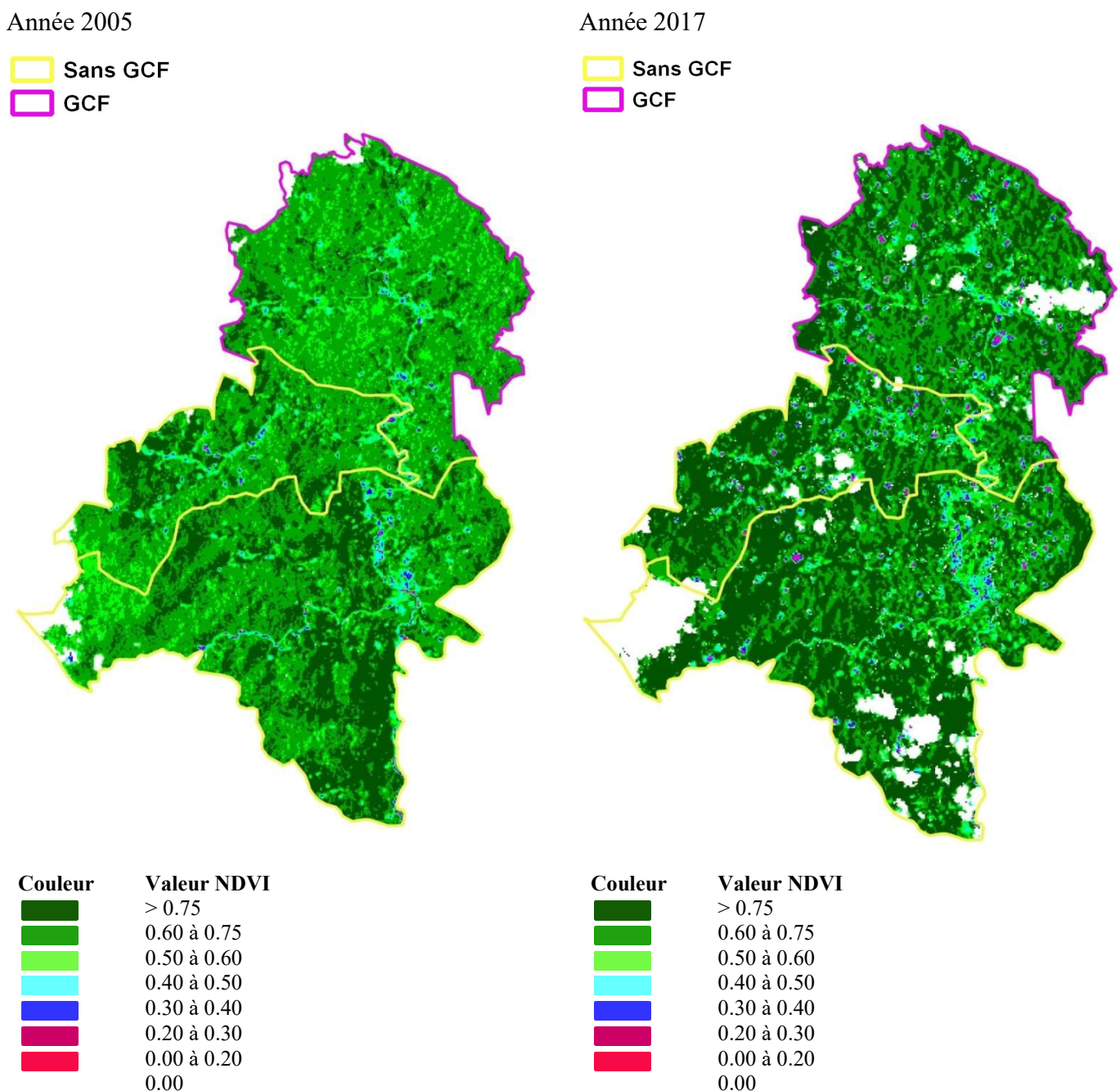


Source : Auteur 2017

3.3 Multiplication des petites zones à faible NDVI dans la zone 3

Les zones à NDVI supérieur à 0.75 ont aussi nettement augmentées pour ce groupe malgré que les petites zones de valeur de NDVI de [0.20 à 0.50] aient gagné du terrain en 2017. Ces petites zones sont généralement de taille plus grande que celles de la zone 2 et comptent une vingtaine de pixels. Elles s'éparpillent sur toute la zone et un rapprochement entre elles en plusieurs points se remarquent. L'évolution de l'aperçu général de la zone d'une couleur majoritairement verte intermédiaire à tendance claire vers une couleur verte plus foncée indique pourtant amélioration globale de l'état de la végétation de la zone.

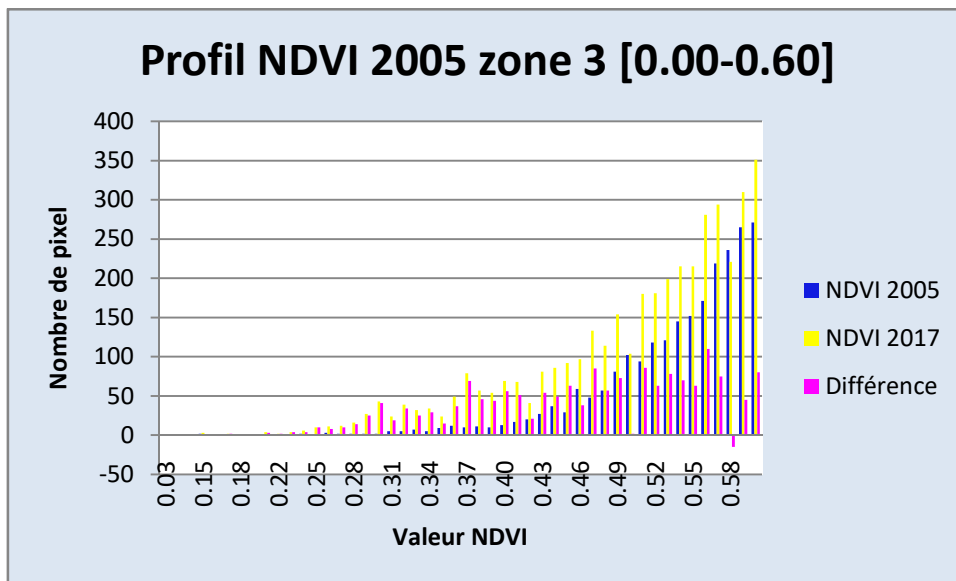
Carte 6: Evolution des indices NDVI du groupe de sites mixtes de la zone 3



Source : Auteur, 2017

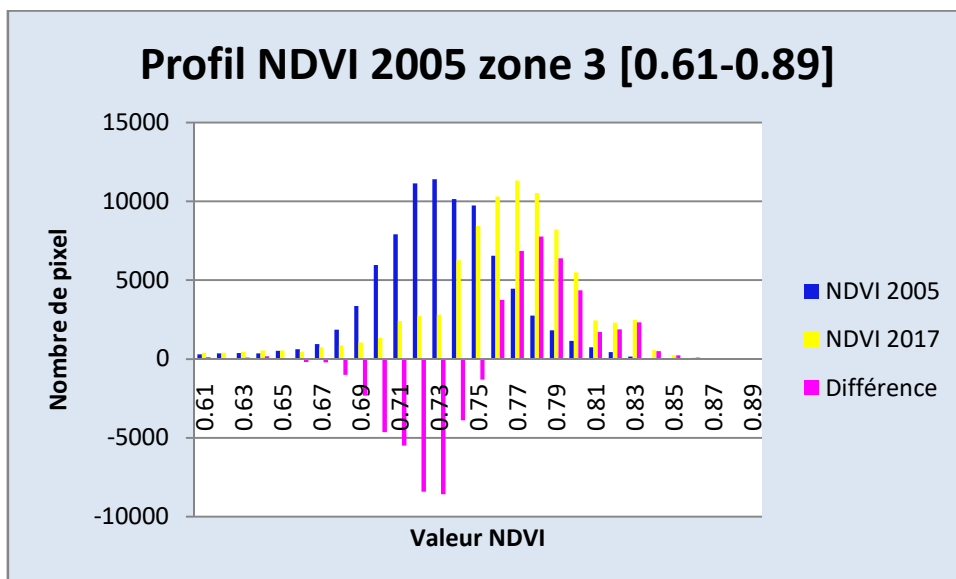
L'analyse quantitative des valeurs totales de NDVI pour cette zone révèle en effet un bilan positif pour le passage de l'année 2005 à l'année 2017. La zone présente une augmentation de valeur totale de NDVI de 2.98% en 2017 par rapport à sa valeur totale pour l'année 2005. Le déplacement du profil NDVI vers la droite pour l'année 2017 est aussi notable ici. Aussi, il peut être conclu qu'à ce niveau les petites zones à NDVI faible n'ont pas réduit le niveau d'activité chlorophyllienne de la zone. Les figures 7 et 8 renseignent sur l'évolution quantitative des NDVI de l'année 2005 à l'année 2017 pour cette zone.

Figure 7: Dynamique des NDVIs de la zone 3 (a)



Source : Auteur 2017

Figure 8: Dynamique des NDVIs de la zone 3 (b)

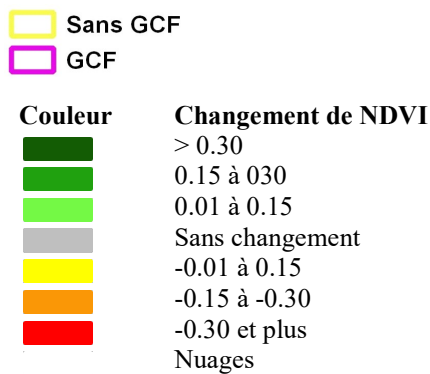


Source : Auteur 2017

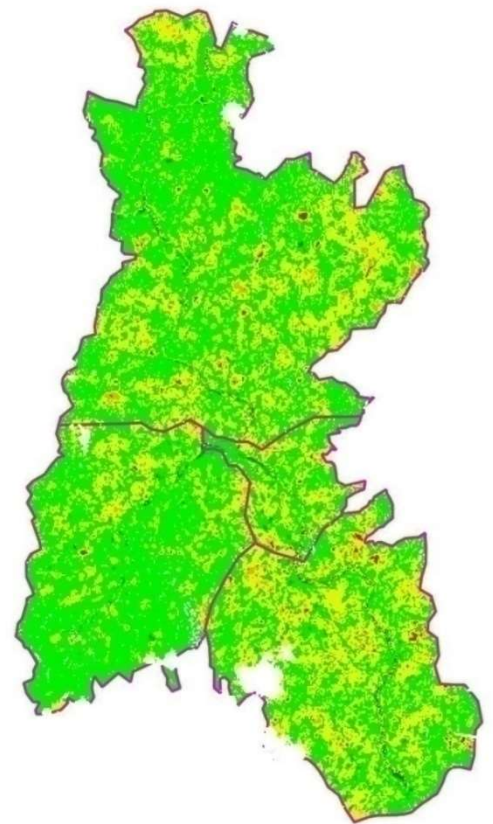
3.4 Dynamique des changements des NDVIs différente par zone géographique

La détection de changement des NDVIs au niveau des trois groupes de l'échantillon laisse apparaître clairement des dynamiques très différentes d'évolution des NDVIs. La zone 1 est celle qui montre une modification négative la plus avancée. La zone 2 est celle qui en présente le moins. Enfin, la zone 3 présente une dynamique intermédiaire mais avec les fortes réductions (de -0.30 et plus – en rouge) qui sont plus affirmés. La carte n°7 illustre ces propos.

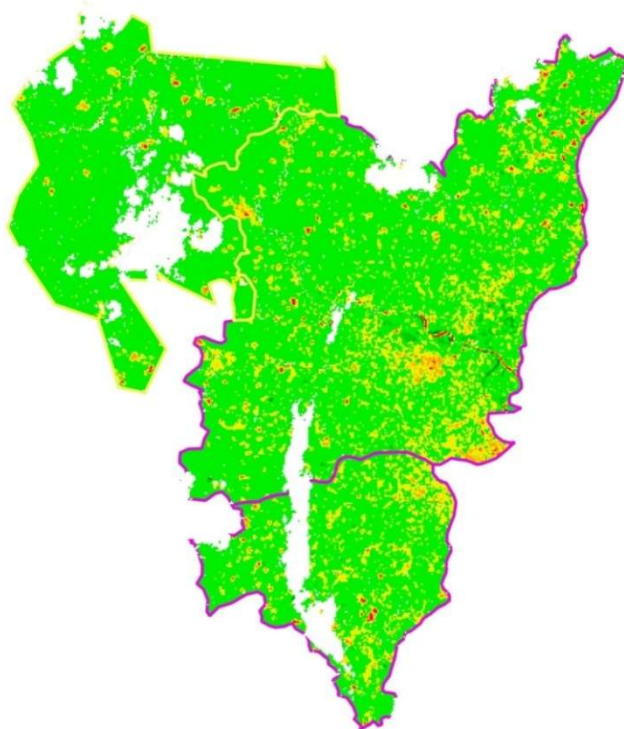
Carte 7: Détection des changements de NDVIs



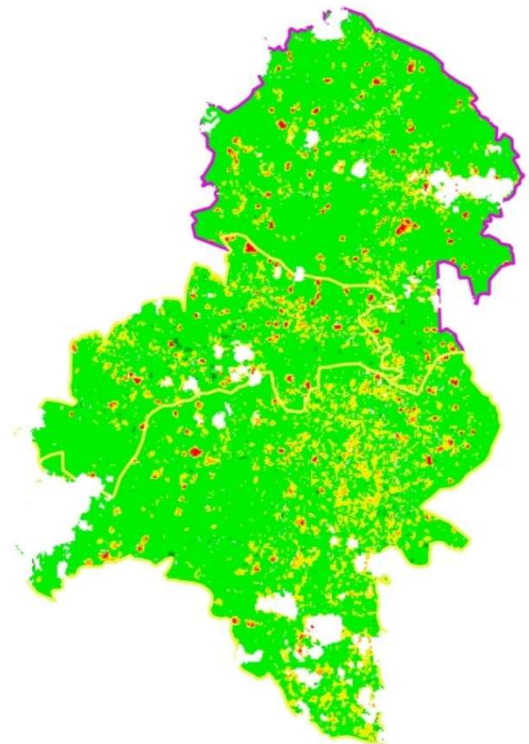
Zone 1



Zone 2



Zone 3

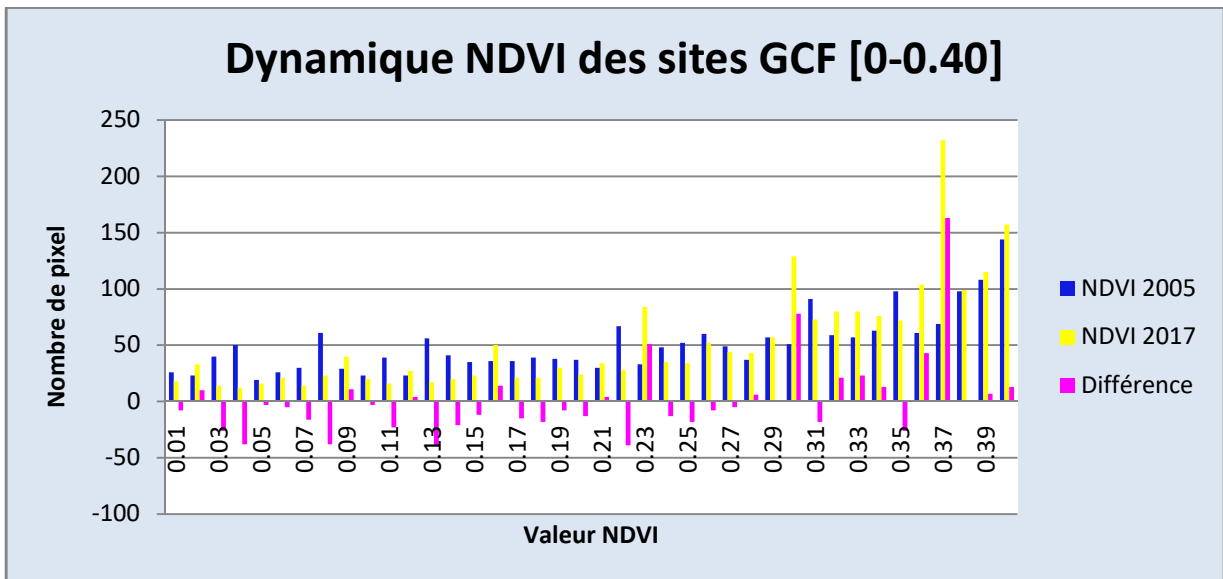


Source : Auteur, 2017

3.5 Densité et vitalité de la végétation plus améliorées au niveau des sites non GCF

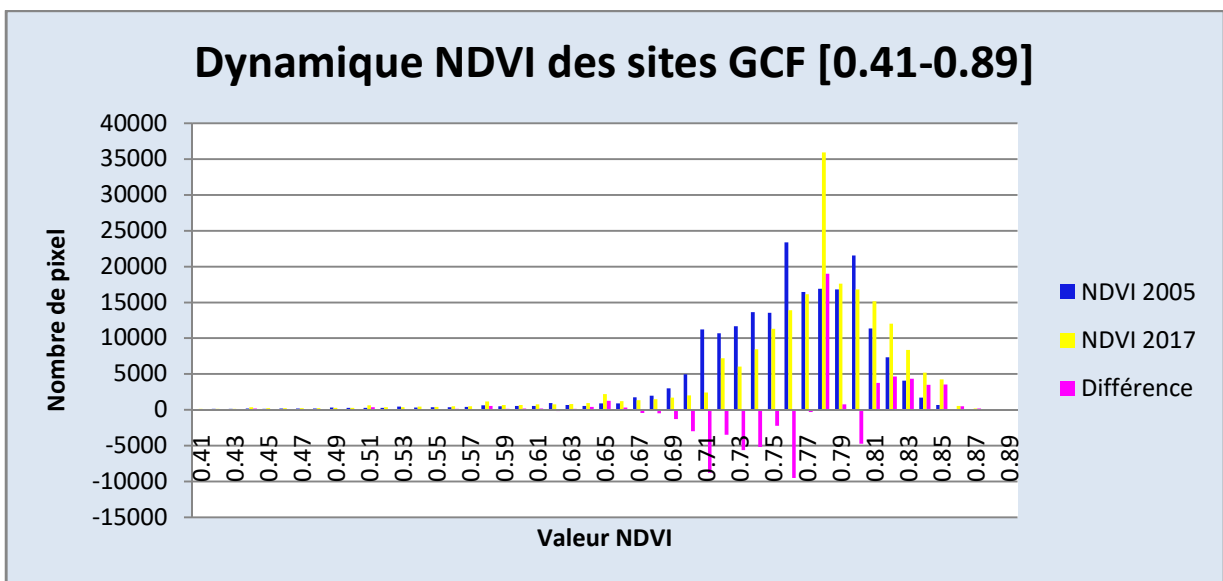
Selon un bilan général, l'échantillon étudié a maintenu son activité chlorophyllienne de l'année 2005 avec une légère augmentation de 0.92% en 2017 par rapport au niveau de 2005. L'analyse comparative de l'évolution des NDVI selon le statut de gestion des sites permet de distinguer que les sites sans GCF ont une augmentation de la valeur totale des indices NDVI de 3.31% tandis que ceux avec GCF ont seulement maintenu le niveau de 2005 (augmentation enregistrée de 0.01%). Les figures qui vont suivre donnent respectivement l'aperçu de l'évolution des NDVI de l'année 2005 à l'année 2017 pour les sites avec GCF et les sites sans GCF.

Figure 9: Dynamique des indices NDVI des sites avec GCF (a)



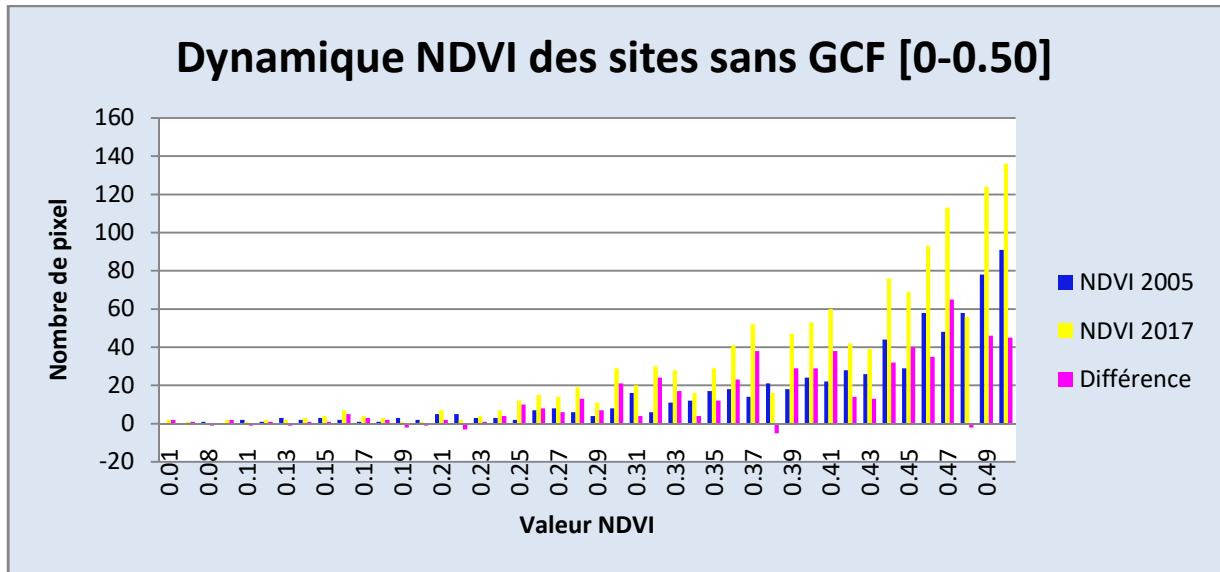
Source : Auteur, 2017

Figure 10: Dynamique des indices NDVI des sites avec GCF (b)



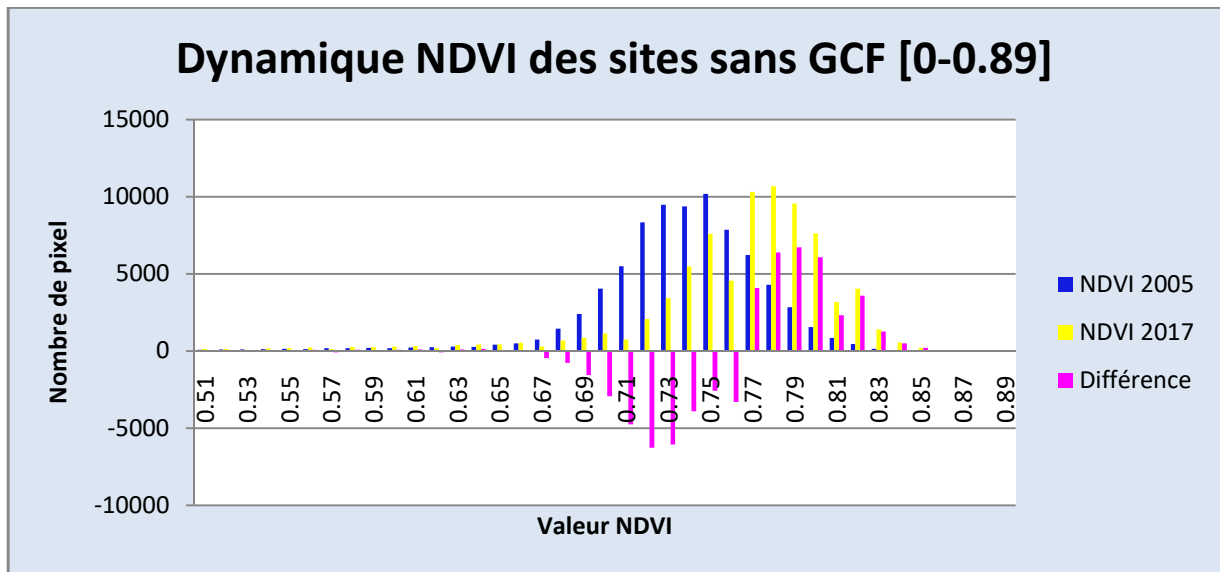
Source : Auteur, 2017

Figure 11: Dynamique des indices NDVI des sites sans GCF (a)



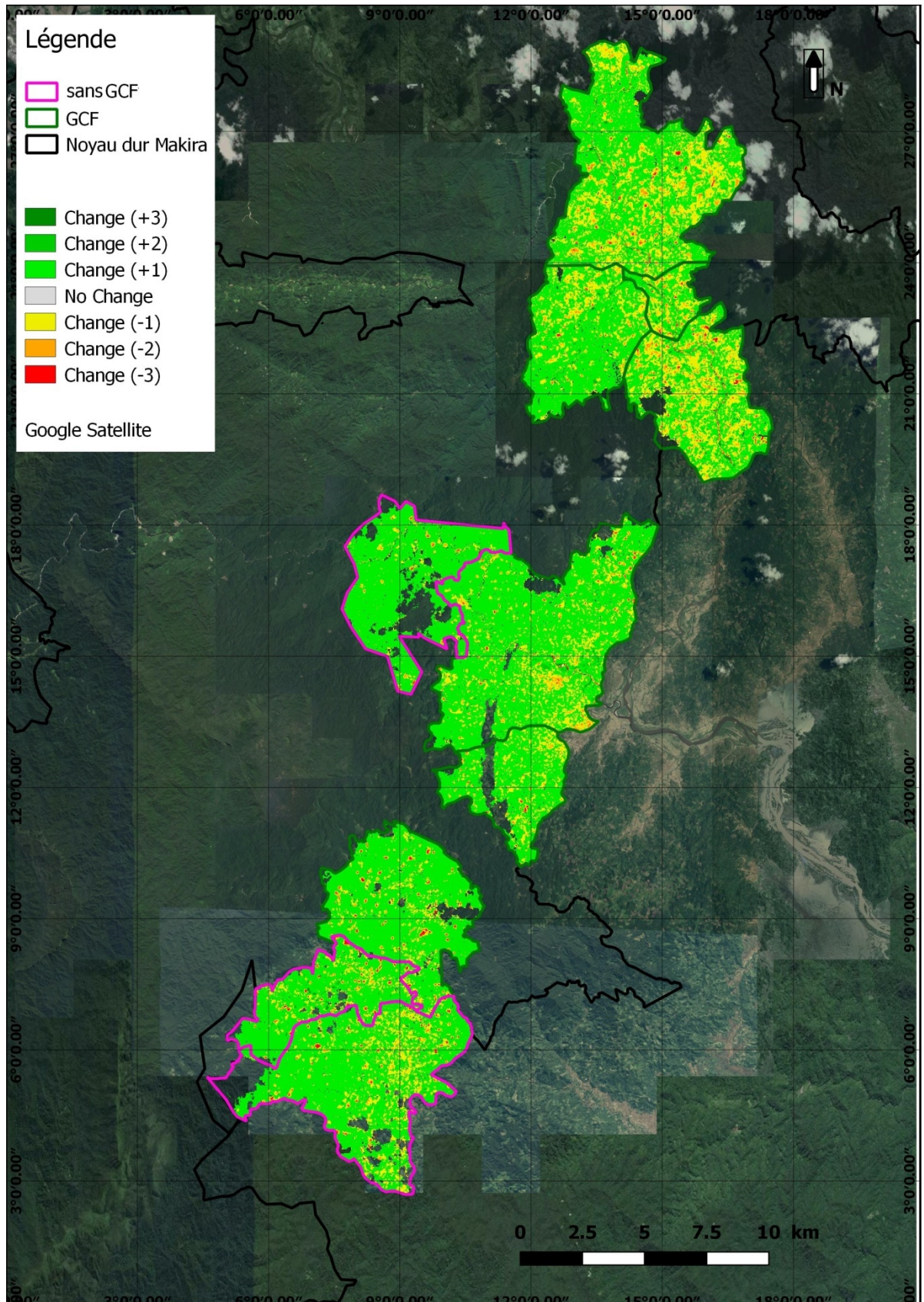
Source : Auteur, 2017

Figure 12: Dynamique des indices NDVI des sites sans GCF (b)



Source : Auteur, 2017

Carte 8: Aperçu général de la dynamique des changements de NDVIs des trois zones

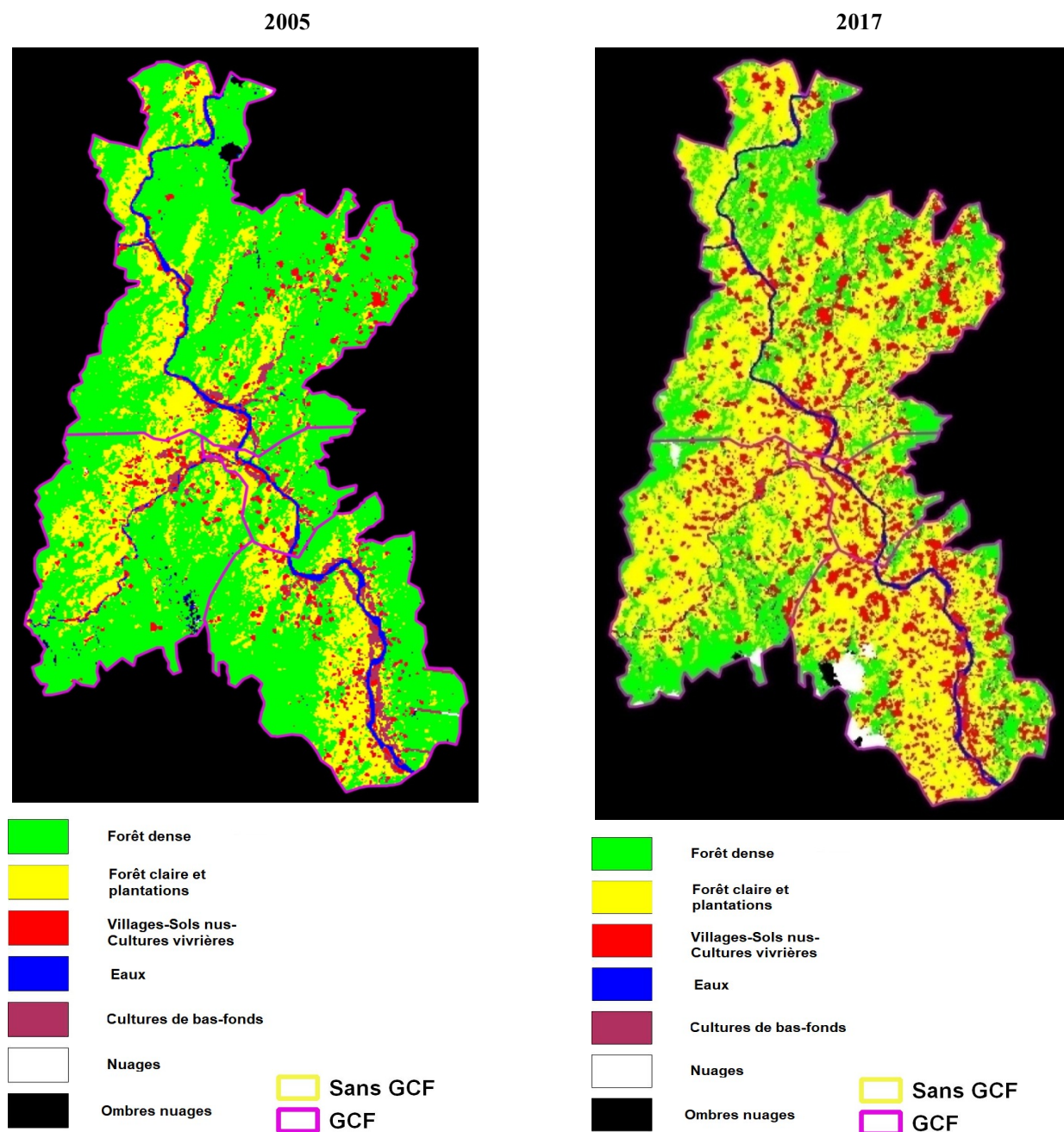


Source : Auteur, 2017

3.6 Changements d'occupation du sol marqués par une intensité très élevée de la présence humaine et de ses activités au niveau de la zone 1

Malgré le fait que l'analyse de l'évolution des NDVI montre une réduction modérée des activités chlorophylliennes pour la zone 1, celle-ci est caractérisée par une intensité élevée des pressions anthropiques sur les ressources. La conversion de la forêt dense en forêt claire et en zone de plantation de cultures de rente atteint plus de deux tiers du territoire. Les habitations, sols à faible couverture végétale et cultures vivrières ont aussi augmenté notablement en taille unitaire et en niveau de couverture de la zone. (cf carte n°14)

Carte 9: Evolution des occupations du sol de la zone 1

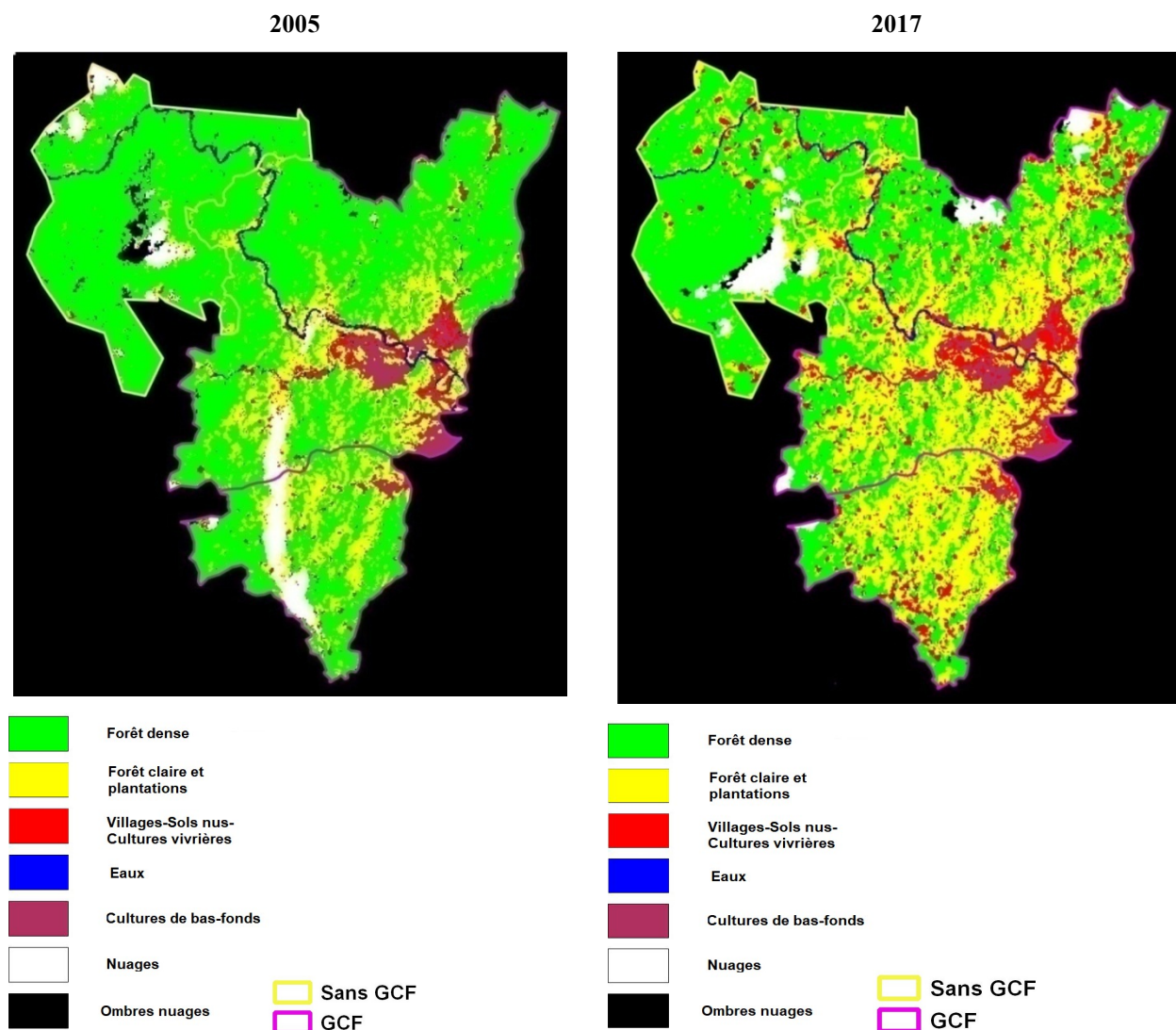


Source : Auteur 2017

3.7 Activités anthropiques plus importantes au niveau des sites de GCF pour la zone 2

La conversion de la forêt dense en forêt claire et/ou zones de cultures de rente est plus accentuée au niveau des deux sites de GCF. L'extension des villages et des cultures vivrières est aussi remarquable et des concentrations de ces activités sur certaines portions de la zone est notable. La GCF ne montre pas d'influence dans ce groupe car c'est le site sans GCF qui est la mieux préservée. Le niveau des pressions est ici plus déterminé par l'accessibilité des sites. Les deux sites de GCF sont plus accessibles grâce à la navigabilité de la rivière *Tainambalana* qui sert de voie principale pour la circulation des hommes et de la production vers la ville de Maroantsetra (chef lieu de district) tandis que le site non GCF est plus enclavé avec un passage obligé dans l'un des sites de GCF pour s'y rendre. L'évacuation de la production s'y fait à dos d'homme. Cette difficulté peut rendre les activités anthropiques moindres.

Carte 10: Evolution des occupations du sol de la zone 2

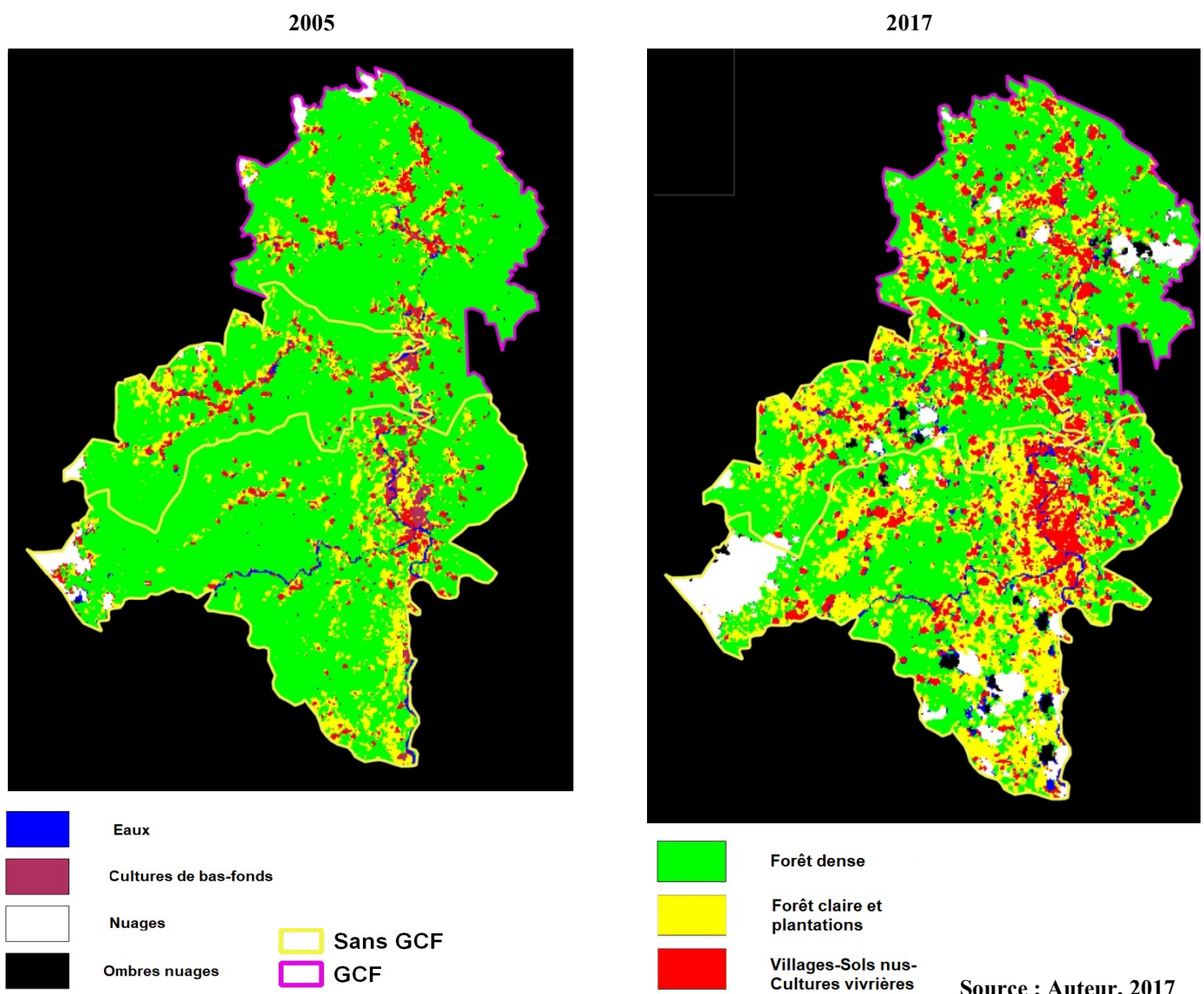


Source : Auteur, 2017

3.8 Tendence vers une stabilisation spatiale des activités agricoles pour le site GCF de la zone 3

La présence humaine dans cette zone est importante pourtant le comportement façonnant le paysage est différent. La conversion de la forêt dense (vert) en forêt claire et plantation de cultures de rente (jaune) est la plus dominante en termes de changement d'occupation du sol pour les autres groupes de sites. Pourtant pour cette zone, la classe d'occupation relative aux villages, aux sols nus et aux cultures vivrières (rouge) est aussi prépondérante. Ceci est particulièrement remarquable pour le site avec GCF. Cette situation peut être interprétée comme une diminution du temps de jachère *ie* les zones de forêt claire relatives aux défriches régénérées ou *Savoka* sont réduites car elles ne sont plus laissées assez longtemps avant d'être réutilisées ainsi les nouvelles conversions de forêt dense sont réduites. Une autre interprétation peut être aussi la préférence des cultures vivrières aux cultures de rente mais qui est moins évidente.

Carte 11: Evolution des occupations du sol de la zone 3



3.9 Matrices de confusion

3.9.1 Matrice de confusion pour la classification des occupations de sol de 2005

Pour l'image de 2005, la matrice de confusion indique une précision globale de 92.08% (2780/3019 pixels) c'est-à-dire les pixels ont été bien classifiés à 92.08% pour l'ensemble des occupations de sol avec un coefficient de Kappa de 0.9037. Le tableau 5 illustre ces propos.

Tableau 5: Matrice de confusion associée à l'image de 2005

		Validation						Précision d'utilisation
		Forêt Dense	Eau	Forêt claire et plantations	Cultures de bas-fond	Villages et cultures vivrières	Erreurs de commission	
Classification	Forêt Dense	691	6	29	0	0	35/726 (5%)	691/726 (95%)
	Eau	0	139	0	0	0	51/190 (27%)	139/190 (73%)
	Forêt claire et plantations	96	0	571	0	0	96/667 (14%)	571/667 (85%)
	Cultures de bas-fond	0	0	16	313	0	16/329 (5%)	313/329 (95%)
	Villages et cultures vivrières	0	0	17	14	126	32/158 (20%)	126/158 (80%)
	Erreurs d'omission	96/787 (12%)	6/145 (4%)	62/633 (10%)	14/327 (4%)	0/126 (0%)	Erreur globale : 239/3019 (8%)	
	Précision de production	691/787 (88%)	139/145 (96%)	571/633 (90%)	313/327 (96%)	126/126 (100%)		Précision globale: 2780/3019 (92%)

Source : Auteur, 2017

3.9.2 Matrice de confusion pour la classification des occupations de sol de 2017

Pour 2017, la classification a une précision générale de 95.38% soit 4591 pixels sur 4813 bien classifiés. Le coefficient Kappa est de 0.9423. Comme précédemment, le tableau 6 suivant renseigne sur la qualité de la classification.

Tableau 6: Matrice de confusion associée à l'image de 2017

		Validation						Précision d'utilisation
		Forêt Dense	Eau	Villages et cultures vivrières	Cultures de bas-fond	Forêt claire et plantations	Erreurs de commission	
Classification	Forêt Dense	1232	0	0	0	0	1/1233 (0.08%)	1232/1233
	Eau	0	249	0	5	1	18/267 (6%)	249/267
	Villages et cultures vivrières	0	3	329	3	0	36/365 (9%)	329/365
	Cultures de bas-fond	1	9	0	87	22	10/97 (10%)	87/97
	Forêt claire et plantations	93	0	0	1	1153	94/1247 (7%)	1153/1247
	Erreurs d'omission	94/1326 (7%)	13/262 (5%)	0/329 (0%)	9/96 (9%)	23/1176 (1%)	Erreur globale : 222/4813 (5%)	
	Précision de production	1232/1326	249/262	329/329	87/96	1153/1176		Précision globale: (4591/4813) 95%

Source : Auteur 2017

3.10 Incapacité de la GCF à maîtriser les pressions anthropiques

De 2005 à 2017, pour les sites avec GCF, la forêt dense a perdu 38.82% de sa superficie initiale en bilan net c'est-à-dire considérant à la fois les pertes et les gains. Le taux de déforestation moyenne annuelle au niveau de ces sites (ne considérant pas les gains en forêt) est de 3.42%. La forêt dense est principalement convertie en forêt claire et/ou plantations (31.11%) puis en villages et/ou cultures vivrières (8.02%). Des installations de villages et de cultures vivrières à partir des forêts claires sont aussi notables. 15, 91% de la zone de forêt claire et de plantations en 2005 sont convertis en villages et cultures vivrières en 2017. L'augmentation de villages et cultures vivrières atteint plus de 187% de son niveau en 2005. Par ailleurs, un retour de la classe de villages et/ou sols nus et/ou cultures vivrières en forêt claire et/ou plantation est aussi assez remarquable et témoigne d'une pratique de jachère permettant d'arriver au stade de la constitution du peuplement d'arbuste. 44.48% des sols nus et cultures vivrières en 2005 sont devenus des peuplements d'arbuste en 2017. Toutefois, le retour vers la forêt dense est assez infime car ne représente que 2.25% de sa superficie initiale. Les tableaux 8 et 9 qui vont suivre illustrent la transformation des classes d'occupation de sol de 2005 à 2017.

Tableau 7: Matrice de transition des sites avec GCF (en %)

		2005						Row Total	Class Total
		Forêt dense	Forêt claire et plantations	Cultures bas fond	Villages et cultures vivrières	Eau			
2017	Unclassified	0	0	0	0	0	0	100	
	Forêt dense	57.49	2.71	2.77	6.4	9.21	100	100	
	Villages et cultures vivrières	8.02	15.91	40.27	39.29	12.71	100	100	
	Eau	0.73	0.27	1.25	2.16	57.91	100	100	
	Forêt claire et plantations	31.11	80.35	25.17	44.48	1.3	100	100	
	Cultures bas fond	2.65	0.76	30.55	7.67	18.86	100	100	
	Class Total	100	100	100	100	100	0	0	
	Class Changes	42.51	19.65	69.45	60.71	42.09	0	0	
Image Difference	-41.07	113.01	9.65	185.01	-0.27	0	0		

Source : Auteur, 2017

Tableau 8: Matrice de transition des sites avec GCF (en ha)

		2005						Row Total	Class Total
		Forêt dense	Forêt claire et plantations	Cultures bas fond	Villages et cultures vivrières	Eau			
2017	Unclassified	0.27	-	-	-	-	0.27	137 932.38	
	Forêt dense	6 529.77	86.40	22.59	38.07	16.83	6 693.66	6 693.84	
	Villages et cultures vivrières	1 040.58	627.66	288.72	309.87	36.45	2 303.28	2 303.28	
	Eau	37.08	3.15	6.03	8.91	193.23	248.40	248.40	
	Forêt claire et plantations	4 463.37	3 371.40	203.49	357.93	2.70	8 398.89	8 398.89	
	Cultures bas fond	450.72	35.28	265.86	75.78	70.83	898.47	898.47	
	Class Total	12 521.79	4 123.89	786.69	790.56	320.04	-	-	
	Class Changes	5 992.02	752.49	520.83	480.69	126.81	-	-	
Image Difference	-5 827.95	4 275.00	111.78	1 512.72	-71.64	-	-		

Source : Auteur, 2017

3.11 Taux de déforestation paradoxalement inférieur aux sites de GCF pour les sites sans GCF

Curieusement, les sites sans GCF étudiés ont une perte en forêt légèrement en dessous des sites avec GCF. Ces sites sans GCF ont perdu 27.62% de leur superficie initiale de forêt dense en bilan net. Les activités de déforestation annuelle représentent 2.46 % tandis que le retour en forêt dense reste aussi infime et ne représente que 1.92% de la superficie initiale. Ce retour vient des forêts claires et cultures vivrières et est respectivement de 6.15% et 10.66% de la superficie de chaque classe en 2017. La conversion de la forêt dense en forêts claires et plantation est très importante et cette classe d'occupation de sol a accru à 164.72% son niveau en 2005. De surcroît, les zones d'habitation et de cultures vivrières ont aussi augmenté massivement. Ces zones sont maintenant à 168.03% par rapport à leur niveau en 2005. Les tableaux 10 et 11 suivants donnent les détails sur les transformations enregistrées par classe d'occupation pour les deux années.

Tableau 9: Matrice de transition des sites sans GCF (en %)

		2005						Row Total	Class Total
		Forêt dense	Forêt claire et plantations	Cultures bas fond	Villages et cultures vivrières	Eau			
2017	Unclassified	0	0	0	0	0	0	100	
	Forêt dense	68.75	6.15	1.84	10.66	20.25	100	100	
	Villages et cultures vivrières	7.42	19.79	72.19	39.6	16.41	100	100	
	Eau	1.63	1.37	5.52	4.93	51.02	100	100	
	Forêt claire et plantations	21.55	72.48	18.92	42.3	2.59	99.99	100	
	Cultures bas fond	0.66	0.21	1.53	2.51	9.73	100	100	
	Class Total	100	100	100	100	100	0	0	
	Class Changes	31.26	27.52	98.47	60.4	48.98	0	0	
	Image Difference	-29.54	164.72	-31.19	168.03	61.46	0	0	

Source : Auteur, 2017

Tableau 10: Matrice de transition des sites sans GCF (en ha)

		2005						Row Total	Class Total
		Forêt dense	Forêt claire et plantations	Cultures bas fond	Villages et cultures vivrières	Eau			
2017	Unclassified	0.09	-	-	-	-	0.09	149 276.88	
	Forêt dense	4 096.35	45.72	1.62	31.32	23.22	4 198.23	4 198.32	
	Villages et cultures vivrières	441.81	147.06	63.54	116.37	18.81	787.59	787.59	
	Eau	97.11	10.17	4.86	14.49	58.50	185.13	185.13	
	Forêt claire et plantations	1 284.21	538.47	16.65	124.29	2.97	1 966.59	1 966.77	
	Cultures bas fond	39.15	1.53	1.35	7.38	11.16	60.57	60.57	
	Class Total	5 958.72	742.95	88.02	293.85	114.66	-	-	
	Class Changes	1 862.37	204.48	86.67	177.48	56.16	-	-	
	Image Difference	- 1 760.40	1 223.82	- 27.45	493.74	70.47	-	-	

Source : Auteur, 2017

CHAPITRE IV : DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS

4.1 Par rapport à la méthodologie

La non exhaustivité de l'étude constitue une limite majeure de la méthodologie. Avec la diversité du contexte local qui induit une diversité de dynamique des occupations du sol, l'échantillon pris ne peut être considéré comme représentatif de la totalité des sites de la ceinture verte de Makira. En effet les résultats obtenus ont par ailleurs confirmé que les dynamiques de changements d'occupation du sol sont différentes d'une zone géographique à une autre.

De même, comme déjà stipulé plus tôt, la zone Makira comprend deux composantes principales dont :

- une forêt dense humide sempervirente de basse altitude à l'Est, et,
- une forêt dense humide sempervirente de moyenne altitude plus à l'Ouest

L'échantillon étudié concerne uniquement la forêt dense humide de basse altitude à l'Est. Hormis les différences de caractéristiques des écosystèmes car la forêt dense humide sempervirente de basse altitude à l'Est s'étend entre 50 à 800 m d'altitude et est dominée par la série à *Myristicaceae* et *Anthostema* tandis que la forêt de l'ouest va de 800 à 1 200 m d'altitude et dominée par la série à *Tambourissa* et *Weinmannia*, (WCS, 2015), les conditions climatiques et les types de pressions dominantes selon le contexte anthropo-culturel spécifique de chaque zone font aussi que les dynamiques de changements d'occupation de l'est ne sont pas comparables à celles l'ouest. En effet, la zone de l'est est plus humide avec une précipitation annuelle de 3 500 mm tandis que la zone ouest ne reçoit que 1 200 mm de pluie par an (WCS, 2011). De même l'est est peuplé par l'ethnie Betsimisaraka qui a comme activités principales la culture du riz pluvial et de bas-fonds et les cultures de rente alors que l'ouest est colonisé par l'ethnie *Tsimihety* qui investit plus sur l'élevage. De la sorte, la pression dominante du flanc est de Makira est l'abattis brûlis pour la culture du riz pluvial tandis que l'ouest est plus exposé aux feux de pâturage (WCS, 2009).

L'insuffisance des données sur le terrain permettant de vérifier/rectifier/améliorer l'interprétation des résultats peut être aussi reprochée à cette étude. En effet, comme la zone Makira est une zone de convoitise pour la richesse de son sous-sol, il est par exemple difficile de distinguer, sans des informations du terrain, des parcelles de cultures vivrières mis en jachère des sites d'exploitation illicite de mine abandonné. Aussi, les *Savoka* ou défriches régénérées en forêt claire sont difficilement distinguable des cultures de rente (vanille, girofle, cacaoyer, caféier).

Pour représenter la dynamique des changements d'occupation du sol de la ceinture verte de Makira, une étude prenant en compte aussi bien les zones de l'ouest que de l'est est nécessaire. De même l'étude gagnera à être la plus exhaustive possible.

4.2 Par rapport aux résultats

4.2.1 Efficacité mitigée de la gestion contractualisée des forêts

L'analyse par les changements de NDVI et l'étude des changements d'occupation du sol ont montré que la GCF n'a pas pu stabiliser les activités anthropiques sur les zones déjà exploitées. L'analyse de l'évolution de la population dans ces sites montre aussi que la GCF à ce niveau n'arrive pas à freiner l'immigration illicite dans ces terroirs. En effet, les données sur le nombre de population ne révèlent pas une augmentation conséquente de la population dans ces sites sauf pour le cas du GCF d'Anjahely qui présente un nombre de population de 45%. Trois postulats peuvent ainsi se poser :

- Soit des installations illicites foisonnent et qui explique l'augmentation des activités anthropiques dans la zone ;
- Soit les activités sont effectués par des gens qui ne s'installent pas définitivement sur site ;
- Soit les données sont erronées et méritent une revue.

Le tableau ci-dessous illustre le nombre de population enregistré lors des recensements pour l'élaboration du plan communal du développement en 2003 figurant dans la monographie de la zone élaborée par le WCS en 2004 et les données sur la population de 2016 que le responsable du WCS a communiqué à la suite de notre demande.

Tableau 11: Evolution de la population au niveau des sites étudiés

Zone	Site	Statut	Nombre population	
			2003	2016
1	Antseranana	GCF	ND	197
	Anjiamazava	GCF	ND	280
	Andaparaty	GCF	1 455	1 350
	Soanafindra	GCF	ND	193
2	Ambinanitelo	Non GCF	6138	ND
	Ambalamahogo	GCF	1 277	1 342
	Marovovonana	GCF	2 983	1 539
3	Anjahely	GCF	286	415
	Vinanibe	Non GCF	783	1 666
	Ambinaninankofa	Non GCF	ND	176

Source : WCS 2004, 2017

4.2.2 Activités anthropiques constituant une réelle menace pour la biodiversité et les services écosystémiques

Selon l'analyse des NDVI, les pressions anthropiques dans la zone n'ont pas réduit les activités chlorophylliennes de l'ensemble de la zone. Ceci peut signifier qu'à ce niveau le service de captation du CO₂ de l'air que la zone fournit est maintenu avec les types de comportement anthropiques actuels. Toutefois, le CO₂ libéré par la conversion de la forêt en parcelle de culture et d'habitation n'est pas comptabilisé (y compris la libération du carbone du sol). La connaissance du bilan net sur ce sujet reste un sujet d'étude important pour permettre de statuer sur les impacts des activités anthropiques dans la zone en matière de modification des services de séquestration de carbone de la zone.

Aussi, même si la vitalité et la densité de la végétation semble généralement maintenues, la conversion de la forêt dense occasionne une perte de biodiversité considérable. Non seulement la richesse en flore diminue mais la faune perd aussi en nourriture et en habitat et augmente de ce fait leur vulnérabilité.

4.2.3 Additionnalité de la mise en place de la ceinture verte de Makira pour l'avenir

Les résultats obtenus ont permis d'apercevoir des dynamiques de déforestation différentes selon l'emplacement géographique du site. Chaque zone géographique dispose d'un contexte socio-économique qui influence considérablement les comportements anthropiques dans la zone. La richesse particulière d'une zone en matière de sous-sol ou en parcelle forestière plus accessible peut faire objet de convoitise et définissent la dynamique de changements d'occupation de sol dans ces zones. Toutefois, d'une manière générale, les zones forestières faciles d'accès sont ceux qui sont les plus soumis aux pressions anthropiques. Le statut de gestion du site semble ne pas avoir d'effet sur ces dynamiques de changement d'occupation du sol.

Ce constat laisse à penser que le noyau dur de Makira peut être pour le moment indemne de pression par son enclavement car les communautés locales préfèrent d'abord utiliser les parcelles forestières de la zone autour qui sont plus accessibles. Le renforcement de cette ceinture pour l'effectivité des engagements de la GCF reste pourtant important pour l'avenir afin de maintenir le noyau dur de Makira dans son enclavement. Certes, plus la migration dans les sites de la ceinture verte de Makira augmente, plus le noyau dur devient plus accessible.

CONCLUSION

Même si les activités anthropiques à leur niveau actuel, n'ont pas d'impact significatif en matière de réduction de l'activité chlorophyllienne de la zone en générale, l'ampleur de la conversion des parcelles forestières en zones d'usages économiques et d'habitation occasionne sans doute à la fois l'érosion de la biodiversité et la libération de CO₂ de la biomasse aérienne et du sol. La zone étudiée a perdu 42.50% de la superficie de sa forêt dense en une période de douze ans soit un taux de déforestation annuel moyen de 3.54%. Ce taux est largement supérieur aux moyennes nationales qui sont de 0.4% pour les forêts naturelles en général, de 0.2% pour les forêts humides de l'est, de 0.5% pour les forêts naturelles comprises dans une altitude de 0 à 400 m et 0.2% pour les forêts naturelles entre 400 et 800 m. (MEF, 2014). Comme le noyau dur de l'AP Makira a enregistré une nette amélioration de son taux de déforestation annuelle qui est passé de 0.11% avant la mise en protection (2003) à 0.062% (moyenne pour la période de 2011 à 2015), il peut être déduit que ce sont les sites de la ceinture verte qui ont reçu les pressions. Investir pour la gestion durable de la ceinture verte de Makira est de ce fait capital pour une protection à long terme du noyau dur de l'AP Makira.

Toutefois, les sites de GCF de la ceinture verte de Makira étudiés ont fait preuve d'une incapacité à stabiliser les pressions de leur terroir et à réduire les nouvelles installations. L'étude de l'évolution des occupations du sol, souligne que les activités économiques et les installations humaines au niveau des sites de GCF étudiés ont triplé leur surface en 2005. Les données formelles obtenues sur la population ne révèlent pourtant d'augmentation conséquente de la population de ces sites. Une grande partie de la modification du paysage vient alors des installations humaines informelles ainsi que des activités illicites. Sous un autre angle, il se peut aussi que les pressions étaient déjà grandes en 2005 mais le déséquilibre était encore moins visible. Néanmoins, force est de constater la faiblesse de la GCF face à la dynamique des pressions anthropiques.

De même, les effets de *leakage* des pressions des GCF au niveau des sites sans GCF ne sont pas observés. Il n'y a pas de différence significative de réduction de la déforestation entre les sites sous statut de GCF et sans GCF. Les hypothèses émises par l'étude au départ ne sont pas confirmées car les contrats de GCF semblent ne pas avoir d'influence apparente sur la gestion des changements d'occupation du sol. Le déplacement et l'apparition des pressions sont surtout liés au double facteur d'attraction économique de la zone conjuguée à la faculté d'accessibilité de cette zone.

La surface affectée à l'habitation humaine et aux cultures vivrières a augmenté de 149,01% en une décennie. Cette situation ne peut pas résulter uniquement de l'accroissement naturel annuel qui est de l'ordre de 2.8% (WCS, 2009). En effet, avec le niveau de développement et le niveau de pauvreté que ces sites présentent, il est difficilement concevable que pour une société encore traditionnelle l'augmentation d'un facteur de un de la population entraîne un facteur quatre dans les surfaces occupées par les habitations et des cultures vivrières. Le phénomène de migration autour de l'aire protégée Makira reste alors une réalité qui subsiste et qui mérite d'être approfondie pour mieux gérer les éventuelles conséquences sur les ressources naturelles de la zone.

Ainsi, la GCF pour les sites étudiés peut être qualifiée de non effective car elle ne répond ni aux besoins de stabilisation des pressions ni à la maîtrise de la migration. Si les mêmes cas se présentent pour les autres sites de GCF de la ceinture verte de Makira alors il peut être conclu que le budget et les efforts alloués pour toutes les étapes de la mise en place et mise en opérationnalité de ces sites sont vains et nécessitent donc une revue. Il est pourtant admis que la GCF n'est pas souvent conclue avec l'ensemble des communautés. L'adhésion comme membre des CoBas qui sont les entités contractants avec l'Etat est volontaire. Alors il est rarement vu que tous les individus d'une communauté soit membre de CoBa et ceci constitue une des difficultés que les contractants à la GCF rencontrent par rapport à leur engagement malgré qu'ils sont investis du pouvoir de gestion du site. Hormis cela, d'autres raisons existent certainement et au vu des résultats de cette étude, il semble être une priorité de se focaliser sur l'effectivité de ces GCF car en plus du coût de leur mise en place, ils sont aussi, depuis 2015 dotés des 50% des revenus carbonés de l'AP Makira.

BIBLIOGRAPHIE

1. Banque Mondiale, 2010. Madagascar : Vers un agenda de relance économique. Banque Mondiale, Antananarivo-Madagascar. 347p.
2. Betbeder J., 2015. Evaluation des données de télédétection pour l'identification et la caractérisation des continuités écologiques. Géographie. Thèse, Université Rennes 2. 374p.
3. Chave J., Andalo C., Brown S., Cairns M. A J., Chambers Q., Eamus D., Folster H., 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia* 145: 87-99
4. Clark D.B., Kellner J.R., 2012. Tropical forest biomass estimation and the fallacy of misplaced concreteness. *J. Veg. Sci.*, 23, 1191-1196.
5. Critical Ecosystem Partnership Fund, 2014. Ecosystem profile Madagascar and Indian Ocean Islands, 290p.
6. DeFries R., Achard F., Brown S., Herold M., Murdiyarso D., Schlamadinger B., de Souza Jr C., 2007. Earth observations for estimating greenhouse gas emissions from deforestation in developing countries. *Environmental Science and Policy*, n° 10, p.385-394.
7. Denis A., 2013. Travaux Pratiques de télédétection spatiale. Arlon Campus Environnement, Université de Liège, Belgique
8. Denis A., 2015. Guide pratique et rapide pour l'acquisition des images LANDSAT et la réalisation d'une analyse diachronique type. Arlon Campus Environnement, Université de Liège, Belgique
9. Food and Agriculture Organisation, 2010. Forest Resource Assessment. Report. Forestry Paper 163, 340p ;
10. Gibbs H.K., 2007. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. *Environ. Res. Lett.*, 2(4), 045023. [en ligne]. Disponible sur <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/2/4/045023/pdf>. [Consulté le: 22 février 2017]
11. Girard M. C., Girard C. M. 2010. Traitement des données de télédétection : environnement et ressources naturelles, Paris, Dunod.553p.
12. Global Forest Observations Initiative, 2013. Intégration des données de télédétection et d'observation au sol pour l'estimation des émissions et des absorptions de gaz à effet de serre dans les forêts: Méthodes et pratiques recommandées par Initiative mondiale pour l'observation

des forêts. Éditeur: Groupe sur l'observation de la Terre, Genève (Suisse), 192p. ISBN 978-92-990047-4-6

13. Harold S.J., Zald, Michael A. Wulder , Joanne, C.White , Hilker T., Hermosilla T., Hobart G. , Coops N., 2016. Integrating Landsat pixel composites and changemetrics with lidar plots to predictively map forest structure and aboveground biomass in Saskatchewan, Canada. *Remote Sensing of Environment* 176 (2016) 188–201
14. Jopaul G., Panzou L., Doucet J-L., Loumeto J-J., Biwole A., Bauwens S., Fayolle A., 2016. Biomasse et stocks de carbone des forêts tropicales africaines. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* 2016 20 (4): 508-522
15. Koch B., 2011. La télédétection et son utilisation dans les Évaluations forestières nationales. Répertoires des connaissances sur évaluations forestières nationales. Food and Agriculture Organisation. 18p.
16. Mason P., Reading B., 2004. Implementation plan for the global observing systems for climate in support of the UNFCCC. 21st international conference on interactive information processing systems for meteorology, oceanography, and hydrology, San Diego. 153p.
17. Matthew C. Hansen , Peter V., Potapov , Scott J., Goetz , Turubanova S., 2016. Mapping tree height distributions in Sub-Saharan Africa using Landsat 7 and 8 data. *Remote Sensing of Environment* 185 (2016) 221–232
18. Michalak A.M., Jackson R., Marland G., Sabine C., 2011. A U.S. Carbon Cycle Science Plan. [en ligne]. Disponible sur <http://www.carboncyclescience.gov/>. [Consulté le 24 mars 2017].
19. Min Feng A., Joseph O., Sexton., Huang C, Anand A., Channan S., Song X-P., 2016. Earth science data records of global forest cover and change: Assessment of accuracy in 1990, 2000, and 2005 epochs. *Remote Sensing of Environment* 184 (2016) 73–85
20. Ministère de l'Environnement des Eaux et Forêts (MEEF), 2005. Troisième rapport national de la convention sur la diversité biologique République de Madagascar, Antananarivo-Madagascar. 181 p.
21. Ministère de l'Environnement et des Forêts (MEF), 2014. Cinquième rapport national de la Convention sur la Diversité Biologique, 204p.
22. Ministère des Finances et du Budget (MFB), 2016. Loi des finances. Antananarivo-Madagascar.
23. Muttенzer F., 2006. Déforestation et droit coutumier à Madagascar. L'historicité d'une politique foncière. Genève : Institut universitaire d'études du développement (IUED), Université de Genève. 565 p.

24. NASA, 2016. 45 years of Carbon Storage Change across the US, Landsat science, [en ligne]. Disponible sur <https://landsat.gsfc.nasa.gov/45-years-of-ecosystem-carbon-storage-change-across-the-u-s/>[Consulté le 04 avril 2017].
25. NASA, 2016. Fingerprinting Carbon Loss in Pacific Northwest, [en ligne]. Disponible sur <https://landsat.gsfc.nasa.gov/fingerprinting-carbon-loss-in-pacific-northwest-forests/> [Consulté le 04 avril 2017].
26. Sarrasin B., 2009. La Gestion LOcale SÉcurisée (GELOSE) : L'expérience malgache de gestion décentralisée des ressources naturelles. Études caribéennes. [en ligne]. Disponible sur : <http://etudescaribeennes.revues.org/3664> [Consulté le 24 avril 2017].
27. Skole D.L., Salas W.A., Taylor V., 1998. Global Observations of Forest Cover: Coarse Resolution Products Design Strategy, Report of a Workshop EROS Data Center. Paris, France. . [en ligne]. Disponible sur http://www.fao.org/gtos/gofc-gold/docs/GOLD_4.pdf. [Consulté le 22 mars 2017].
28. Tsayem D.M. T., 2011. La télédétection en tant qu'outil de mesure de la réduction de la déforestation (REDD). Revue de la Télédétection, Recherche et Application, volume 9 (3-4), pp.245- 257.
29. Tychon B., 2015. Note de cours, Bases de la télédétection. Arlon Campus Environnement, Université de Liège, Belgique
30. UNFCCC, 2002. Report of the Conference of the Parties on the second part of its seventh session, held at Marrakesh from 29 October to 10 November, addendum, part two: action taken by the conference of parties. FCCC/CP/2001/13/Add.1. [en ligne]. Disponible sur http://unfccc.int/documentation/documents/advanced_search/items/6911.php?priref=600001855. [Consulté le 12 mars 2017].
31. UVED, 2008. [en ligne] Suivi de l'environnement par télédétection, <http://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uvcal/html/vegetation/indices/qques-indices/indices-simples.html>
32. Wildlife Conservation Society, 2004. Monographie et analyse socio-économique de la Région de Makira. 91p.
33. Wildlife Conservation Society, 2008. Etude d'impact environnemental relative à la création de l'Aire Protégée Makira, 90p.
34. Wildlife Conservation Society, 2009. Plan d'aménagement et de gestion de l'Aire Protégée Makira. 136p
35. Wildlife Conservation Society, 2011. Project Design Document. Following Climate, Community and Biodiversity (CCB) Standards, 157p.

36. Wildlife Conservation Society, 2015. Avant Projet détaillé. Appui à la conservation de l'intégrité écologique et la gestion durable des ressources naturelles du Parc Naturel Makira, 35p.
37. Yale University, Center for Earth Observation, 2017. How to convert Landsat DN's to Top of Atmosphere (ToA) Reflectance. [en ligne] <http://yceo.yale.edu/how-convert-landsat-dns-top-atmosphere-toa-reflectance> [consulté le 02/08/2017].
38. <https://fr.tutiempo.net/climat>

ANNEXES

ANNEXE 1 : Etat des contrats de GCF du secteur 1 de la zone Makira

ANNEXE 2 : Données sur la population des sites du secteur 1 de la ceinture verte de Makira

ANNEXE 1 : Etat des contrats de GCF du secteur 1 la zone Makira

Nbre site	Sites	Nom du VOI	Nbre Fkt	Fkt	Nbre Com	Communes	Date de signature du contrat 1 (Mis en place)	EVALUATION
SECTEUR 1								
1	Ambalamahogo	VOI FMTIA	1	Ambalamahogo	1	Ambinanitelo	02/12/2004	PV: 04/05/2009
1	Ambinanindrano	VOI MIALAM	1	Ambinanindrano	1	Voloina	03/12/2004	PV: 04/05/2009
1	Ambodivoahangy	VOI Ambodivoangy M	1	Ambodivoahangy		Ambinanitelo	02/12/2004	PV: 04/09/2009
1	Andaparaty	VOI VHF	1	Andaparaty		Ambinanitelo	02/12/2004	PV: 04/05/009
1	Anjahely	VOI FVFA	1	Andongona	1	Antsirabe Sahatany	03/12/2004	PV: 04/05/2009
1	Anjiamazava	VOI A T Miray	1	Sahantaha		Ambinanitelo	23/09/2006	27 au 31/07/2015
1	Antseranana	VOI AATF		Sahantaha		Ambinanitelo	19/07/2008	02 - 06/07/2014 / PV 30/09/2014
1	Marovovonana	VOI FAM	1	Marovovonana		Ambinanitelo	02/12/2004	PV: 04/05/2009
1	Soanafindra	VOI FVAS		Sahantaha		Ambinanitelo	19/07/2008	02 - 06/07/2014
1	Ambanivalotra	VOI TMA		Ampoahantsatroka	1	Antakotako	25/09/2014	
1	Ampoahantsatroka	VOI Fanasina	1	Ampoahantsatroka	1	Antakotako	25/09/2014	
1	Anstiranambato	Antsiranambato Mandroso		Sakatihina		Antakotako	16/12/2016	
1	Sahasomba	Lazan'i sahasomba		Sakatihina		Antakotako	16/12/2016	
13	TOTAL		8		5			

**ANNEXE 2 : Données sur la population des sites du secteur 1 de la ceinture verte de
Makira**

Nbre site	Sites	Nom du VOI	Nbre Fkt	Fkt	Liste des Hameaux	Nbre ménages	Population	Masculin	Féminin
SECTEUR I									
1	Ambalamahogo	VOI FMTIA	1	Ambalamahogo	Ambalamahogo	263	1342	627	715
1	Ambinanindrano	VOI MIALAM	1	Ambinanindrano	Ambinanindrano	105	525	184	341
					Ankarantany	15	75	30	45
1	Ambodivoahangy	VOI Ambodivoangy M	1	Ambodivoahangy	Ambodivoangy	164	882	353	529
					Sahahitra	25	134	54	80
					Andrantamarina	40	214	86	128
1	Andaparaty	VOI VHF	1	Andaparaty	Andaparaty	274	1350	608	742
1	Anjahely	VOI FVFA	1	Andongona	Anjahely	90	415	166	249
1	Anjiamazava	VOI A T Miray	1	Sahantaha	Anjiamazava	54	280	112	168
					Antanambao	30	115	46	69
1	Antseranana	VOI AATF		Sahantaha	Antseranana	45	197	79	118
					Ankarongana	25	125	50	75
1	Marovovonana	VOI FAM	1	Marovovonana	Marovovonana	285	1539	616	923
					Ambatofotsy	221	1193	478	715
					Ambodimandrorofo	25	135	54	81
					Ambohisoa	53	286	115	171
					Ambodimangatelo	82	443	178	265
					Ambodivato	23	124	50	74
					Likonjy	7	37	15	22
1	Soanafindra	VOI FVAS		Sahantaha	Soanafindra	45	193	99	94
1	Ambanivalotra	VOI TMA		Ampoahantsatroka	Ambanivalotra	114	228	92	136
					Mahitsiarongana	35	82	33	49
					Sahasatrana	20	70	28	42
1	Ampoahantsatroka	VOI Fanasina	1	Ampoahantsatroka	Ampoahantsatroka	74	269	108	161
					Sahakoho	40	145	58	87
					Ampasimbola	20	68	28	40
1	Anstsiranambato	Antsiranambato Mandroso		Sakatihina	Antsiranambato	96	330		
					Belle rose	116	395		
					Sahambatrabe	30	126		
1	Sahasomba	Lazan'i sahasomba		Sakatihina	Sahasomba	31	130		
					Analambolo	19	87		
					Ambodimanga	19	97		
	Vinanibe				Vinanibe		1666	807	859
					Nosibe				
	Ambinaninankofa				Ambinaninankofa		176	86	90
13	TOTAL		8		-	2 485	13 473	5 240	7 068

RESUME

Le transfert de gestion des ressources naturelles aux communautés locales (TGRN) occupe une place prépondérante dans le paysage de la conservation à Madagascar. Il est considéré comme une réponse aux difficultés liées à l'enclavement et à l'envergure des zones à protéger. Pour l'Aire Protégée (AP) Makira, en plus de son intégration dans le Système des Aires Protégées de Madagascar (SAPM), le TGRN associé au financement carbone constituent les fondements de la pérennisation de sa conservation. L'objectif étant d'évaluer la performance du TGRN à maîtriser la déforestation, le travail a porté sur l'étude de l'évolution de la quantité et de la vitalité de la couverture végétale par la dynamique des valeurs de l'indice de végétation NDVI des années 2005 et 2017 ainsi que sur l'analyse les changements d'occupation du sol au niveau de la ceinture verte. La réalisation de ce suivi environnemental s'est basée principalement sur la télédétection.

Les résultats ont permis de mettre en exergue l'incapacité des sites de TGRN mis en place, à stabiliser les pressions anthropiques et à maîtriser les migrations et les activités illicites. La zone d'étude est marquée par la perte en biodiversité et la libération de CO₂ liée aux changements d'affectation des terres. 42.50% de la superficie de sa forêt dense est perdue en douze ans. Son taux de déforestation annuel moyen, de 3.54%, dépasse largement la moyenne nationale pour le biome des forêts humides de l'Est de même altitude. Les activités économiques et les installations humaines ont triplé leur surface. Aucune différence significative n'a pu être relevé en termes de maîtrise des pressions entre sites sous contrats de TGRN et ceux sans contrats. Il ressort que le niveau des pressions n'est pas lié au statut de gestion des sites mais à leur attractivité économique et à leur accessibilité. Les analyses soulignent par ailleurs le caractère illicite d'une grande partie de ces installations et activités modifiant significativement le paysage. La revue de la TGRN est de ce fait capitale car sa non effectivité menace la biodiversité et le maintien des services écosystemiques.

Mots clés : Suivi environnemental, télédétection, transfert de gestion, ressources naturelles, communautés locales, NDVI, changements d'occupation du sol, Madagascar.