

Liste des figures

<i>Figure 1 : Structure du compte du carbone écosystémique (Weber, 2014).....</i>	<i>11</i>
<i>Figure 2 : Exemple d'une classification d'UPSE fondée sur sept TCTD et quatre catégories d'altitude</i>	<i>12</i>
<i>Figure 3 : Structure du compte des services fonctionnels de l'infrastructure écosystémique (Weber 2014).....</i>	<i>13</i>
<i>Figure 4 : Situation de la nouvelle aire protégée d'Antrema (Ramihangihajason T., 2015)16</i>	
<i>Figure 5 : Extrait de la carte géologique (Service de la Géologie de Madagascar, 1972)</i>	<i>18</i>
<i>Figure 6 : Les images SPOT-5 utilisées</i>	<i>37</i>
<i>Figure 7 : Correction géométrique.....</i>	<i>39</i>
<i>Figure 8 : Fusion d'images</i>	<i>42</i>
<i>Figure 9 : Carte d'occupation du sol Antrema 2014</i>	<i>44</i>
<i>Figure 10 : Carte d'occupation du sol Antrema 2004.....</i>	<i>45</i>
<i>Figure 11 : Subdivision UPSE d'Antrema.....</i>	<i>48</i>
<i>Figure 12 : Région Boeny.....</i>	<i>57</i>
<i>Figure 13 : Schéma d'un neurone artificiel</i>	<i>62</i>
<i>Figure 14 : Cartographie de la région Boeny 2004.....</i>	<i>63</i>
<i>Figure 15 : Cartographie de la région Boeny 2014.....</i>	<i>64</i>
<i>Figure16 : Cartographie des flux d'occupation de sol Boeny (2004-2014)</i>	<i>65</i>

Liste des tableaux

<i>Tableau 1 : Les 14 classes d'occupation du sol selon l'ENCA-QSP</i>	5
<i>Tableau 2 : Flux d'occupation de sol (Weber, 2014)</i>	6
<i>Tableau 3 : Dérivation des flux de couverture des terres de la matrice de changement entre deux dates (Weber, 2014)</i>	7
<i>Tableau 4 : Compte d'occupation des sols (Weber, 2014)</i>	8
<i>Tableau 5 : unités comptables écosystémiques (weber, 2014)</i>	14
<i>Tableau 6 : Tableau des classes UCTE</i>	43
<i>Tableau 7 : Matrice de confusion de la classification effectuée</i>	44
<i>Tableau 8 : Récapitulatif des changements entre 2004 et 2014</i>	46
<i>Tableau 9 : Tableau de classification des flux d'occupation des sols (Weber, 2015 consultance personnel)</i>	47
<i>Tableau 10 : Compte d'occupation du sol Antrema</i>	47
<i>Tableau 11 : Notation attribuée à chaque type de couverture des terres</i>	49
<i>Tableau 12 : Comptes des services fonctionnels de l'infrastructure écosystémique d'Antrema</i>	50
<i>Tableau 13 : Compte du carbone écosystémique Antrema</i>	54
<i>Tableau 14 : Caractéristiques des images LANDSAT 5 et LANDSAT 8 (NASA, 2013)</i>	61
<i>Tableau 15 : Matrice de confusion Boeny 2004</i>	64
<i>Tableau 16 : Matrice de confusion Boeny 2014</i>	65
<i>Tableau 17 : Tableau résumé de la détection de changement Boeny (2004-2014)</i>	66
<i>Tableau 18 : Compte d'occupation de sol Boeny</i>	67
<i>Tableau 19 : Compte des services fonctionnels de l'infrastructure écosystémiques Boeny</i>	68
<i>Tableau 20 : Compte des carbones écosystémiques Boeny</i>	69

Présentation de l'IOGA	<i>i</i>
Remerciements	<i>vii</i>
Liste des figures	<i>x</i>
Liste des tableaux	<i>xi</i>
INTRODUCTION	<i>1</i>
PARTIE I : LES COMPTES ECOSYSTEMIQUES	<i>3</i>
I.1 Les comptes écosystémiques	<i>4</i>
I.1.1 Historique	<i>4</i>
I.1.2 Les quatre principaux comptes	<i>4</i>
I.1.2.1 Le compte d'occupation des sols	<i>5</i>
I.1.2.2 Compte du carbone écosystémique	<i>8</i>
I.1.2.3 Compte des services fonctionnels de l'infrastructure écosystémique	<i>11</i>
PARTIE II : APPLICATION AU NIVEAU LOCAL CAS DE LA NOUVELLE AIRE PROTEGEE D'ANTREMA	<i>15</i>
II.1 Zone d'étude	<i>16</i>
II.1.1 Milieu physique	<i>16</i>
II.1.1.1 Situation géographique	<i>16</i>
II.1.1.2 Relief	<i>17</i>
II.1.1.3 Hydrographie	<i>17</i>
II.1.1.4 Géologie	<i>17</i>
II.1.1.5 Climat	<i>18</i>
II.1.1.6 Température	<i>18</i>
II.1.1.7 Précipitation	<i>18</i>
II.1.1.8 Humidité relative	<i>19</i>
II.1.1.9 Vents	<i>19</i>
II.1.1.10 Cyclones	<i>19</i>
II.1.2 Milieu biologique	<i>19</i>
II.1.3 Milieu humain	<i>20</i>
II.1.3.1 Administration et population	<i>20</i>
II.1.4 Activités socio-économiques	<i>21</i>
II.1.4.1 Système de production	<i>21</i>
II.1.4.2 Education	<i>22</i>
II.1.4.3 Santé	<i>22</i>
II.2 Données et méthodes utilisées	<i>36</i>
II.2.1 Données utilisées	<i>36</i>
II.2.2 Méthodes utilisées dans les différents traitements d'images	<i>38</i>
II.2.2.1 Prétraitements	<i>38</i>
II.2.2.2 Classification d'image	<i>40</i>
II.2.3 Méthodes pour le compte carbone écosystémique	<i>41</i>
II.3 Résultats et interprétations	<i>42</i>
II.3.1 Résultats	<i>42</i>
II.3.1.1 Fusion d'image	<i>42</i>
II.3.1.2 Classification	<i>43</i>
II.3.1.3 Détection de changement	<i>46</i>

II.3.1.4	Compte d'occupation des sols	47
II.3.1.5	Compte des services fonctionnels de l'infrastructure écosystémiques	48
II.3.1.6	Compte du carbone écosystémique	51
II.3.2	Interprétation	55
PARTIE III : EXTRAPOLATION DES RESULTATS CAS DE LA REGION BOENY		56
III.1	Zone d'étude	57
III.1.1	Situation géographique	57
III.1.2	Territoire et occupation du sol	57
III.1.3	Environnement physique	57
III.1.4	Environnement écologique et biologique	58
III.1.5	Situation économique de la région	59
III.1.5.1	Pêche et aquaculture :	59
III.1.5.2	Agriculture :	59
III.1.5.3	Tourisme :	59
III.1.5.4	Energie et Mines :	59
III.1.5.5	Industrielle :	59
III.1.5.6	Secteur forestier :	59
III.1.5.7	Artisanat :	60
III.1.5.8	Investissements privés :	60
III.2	Données et méthodes utilisées	61
III.2.1	Données	61
III.2.2	Méthodes	61
III.2.2.1	Classification : le réseau de neurone	61
III.2.2.2	Détection de changement : la méthode iMAD	63
III.3	Résultats et interprétations	63
III.3.1	Classification	63
III.3.2	Détection de changement	65
III.3.3	Comptes écosystémiques	67
III.3.3.1	Compte d'occupation des sols	67
III.3.3.2	Compte des services fonctionnels de l'infrastructure écosystémiques	68
III.3.3.3	Comptes des carbones écosystémiques	69
III.4	Interprétation	70
Discussions		71
Conclusion		72
Bibliographie		73
Webographie		75
Annexes		76

INTRODUCTION

Quand l'agence environnementale européenne a commencé l'implantation du programme de compte écosystémique le système de comptabilité économique et environnementale (SCEE) a été né. Ainsi ce qu'il propose c'est de modéliser l'interaction des composantes écosystémiques avec le développement économique et sociale d'un pays.

Suite à la ratification en 1995 par Madagascar de la Convention sur la Diversité Biologique, et suite à la vision Durban, l'état malagasy a décidé de tripler la surface des Aires Protégées. Le but est d'augmenter la surface des Aires Protégées de 1,7 millions d'hectares à 6 millions d'hectares dans les cinq années à venir et en référence aux catégories des Aires Protégées de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature. La forêt d'Antrema fait partie de ce projet afin d'être intégrée dans le Système des Aires Protégées de Madagascar qui abrite des sites présentant une extraordinaire richesse naturelle en faune et en flore avec un taux d'endémisme très élevé (Roger et *al*, 2006). Antrema est l'une des Aires protégées de la Région Boeny dans le Nord-Ouest de Madagascar.

Dans ce travail, la comptabilité expérimentale des écosystèmes du système de comptabilité environnementale et économique (SCEE-CEE) fait l'objet de recherche. La phrase est dite expérimentale car il n'est pas encore possible d'établir une norme stable à cause des nombreuses approches utilisées actuellement pour la comptabilité des services et actifs écosystémiques. « Il est important que l'expérience sur le terrain soit acquise au moyen d'essais du cadre de comptabilité proposé dans la comptabilité expérimentale des écosystèmes du SCEE. À cet égard, les concepts et la terminologie décrits dans ces pages appuieront les efforts pour la mise à l'essai et faciliteront la mise en commun des expériences en comptabilité des écosystèmes.» (SCEE, partie 2, par. 1.10). Effectuer cette comptabilité est devenu une préoccupation importante en matière de gestion publique car elle cherche à définir la valeur attachée aux espaces naturels. D'après la réunion sur les objectifs de développement durable de l'Assemblée générale des Nations Unies, le 19 juillet 2014 (par. 0.24) qui dit que «d'ici à 2020 au plus tard, les valeurs de la diversité biologique ont été intégrées dans les stratégies et les processus de planification nationaux et locaux de développement et la réduction de la pauvreté, et incorporés dans les comptes nationaux, selon les besoins, et dans les systèmes de notification».

Ce travail va s'orienter vers l'apport de la télédétection et du système d'information géographique (SIG) dans l'établissement de la comptabilité des écosystèmes. On verra la classification et la détection de changement de deux images à deux dates distinctes. Dans notre cas, on a pris un écart de dix ans (2004 et 2014). Généralement, ce SCEE-CEE se pratique au niveau national mais qu'en est-il si on l'applique à un niveau plus petit c'est-à-dire régional et/ou voir même local ?

Pour faire face à cette problématique voici les étapes qu'on va suivre : voyons d'abord les comptes écosystémiques, ensuite l'application sur la Nouvelle Aires Protégées d'Antrema et enfin l'extrapolation des résultats au niveau régional (région Boeny)

PARTIE I : LES COMPTES ECOSYSTEMIQUES

I.1 Les comptes écosystémiques

I.1.1 Historique

La comptabilité des ressources naturelles qui est un sujet d'intérêt récurrent depuis les premiers comptes nationaux des physiocrates (France, XVIII^e siècle) est basé pendant longtemps sur le calcul de la rentabilité des terres et des mines, ou sur la gestion des forêts. La question de la comptabilité a été mise de l'avant lors de la Conférence des Nations Unies sur l'environnement de 1972 (Pékin 1972, en Norvège, et plus tard aux États-Unis) et des projets pionniers en Norvège, au Canada, au Costa Rica, en France, en Indonésie, aux Pays-Bas, en Norvège, aux Philippines, en Espagne, etc...

La Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement de 1992 (sommet de la Terre à Rio) a été une autre étape importante, avec demande d'enregistrer l'environnement dans les comptes nationaux incluse dans l'Agenda 21: « Il faudrait également examiner les concepts actuels de croissance économique et la nécessité de créer de nouveaux concepts de richesse et de prospérité permettant d'améliorer les conditions de vie en modifiant les modes de vie et qui soient moins tributaires des ressources limitées de la planète et plus en harmonie avec sa capacité de charge. Ces éléments devraient être reflétés dans l'élaboration de nouveaux systèmes de comptabilité nationale et autres indicateurs d'un développement durable».

I.1.2 Les quatre principaux comptes

Tout d'abord, on a **le compte d'occupation** des sols qui aide à cartographier l'origine des services écosystémiques, plus particulièrement les services d'approvisionnement. Ensuite il y a les comptes des trois grands services ou ressources écosystémiques qui résument l'ensemble de l'écosystème : **le carbone écosystémique, l'eau écosystémiques et l'ensemble de services écosystémiques** incorporels évalués de manière indirecte en fonction de l'intégrité de l'écosystème et de sa diversité biologique. Les trois derniers comptes sont présentés selon le même modèle de quatre tableaux :

- Total et flux des stocks de base ;
- Excédent de ressource écosystémique accessible;
- Utilisation totale de la ressource (domestique et importée, biologique ou le cas échéant d'origine fossile) ;
- Indices de santé et/ou détresse des écosystèmes.

Dans ce travail on a pu seulement établir trois de ces quatre comptes. On a dû mettre de côté le compte de l'eau écosystémique faute de temps.

1.1.2.1 Le compte d'occupation des sols

Ce compte nécessite des cartes à deux dates de la zone d'étude et les changements observés durant ces deux dates. La nomenclature des classes doit être normalisée, c'est-à-dire qu'elle doit suivre une structure de référence commune pour l'intégration et la comparaison des données de couvertures des terres. Pour cela, on a utilisé le LCML (Land Cover Meta Language) proposée par la FAO. Suivant cette règle la classification des unités de couvertures des terres écosystémiques (UCTE) a été élaborée. S'inspirant des systèmes de classification comme l'AFRICOVER, le CORINE Land Cover, MODIS Land Cover (voir annexe)...le principe de la classification des UCTE est de recommander un niveau agrégé de 14 classes (plus la mer). Ce niveau agrégé peut ensuite être sous-divisé, en fonction des besoins spécifiques, tout en préservant une cohérence globale.

Classe	Intitulés
01	Zones urbaines et surfaces artificielles associées
02	Terres agricoles herbacées homogènes
03	Plantations agricoles, cultures permanentes
04	Associations et mosaïques agricoles
05	Prairies, surfaces en herbe naturelles
06	Couverture forestière
07	Couverture de végétation arbustive, broussailles, landes...
08	Zones de végétation clairsemée
09	Associations et mosaïques de végétation naturelle
10	Terres nues
11	Neige et glaciers permanents
12	Zones humides ouvertes
13	Surfaces en eau intérieures
14	Surfaces en eau littorales et zones intertidales Mer (interface avec la terre)

Tableau 1 : Les 14 classes d'occupation du sol selon l'ENCA-QSP

Après la classification on fait la détection de changement. On remplit ensuite le tableau où on fait correspondre les changements en flux d'occupation de sol (Voir tableau 3). Le tableau suivant montre les différents flux de couvertures des terres :

Nomenclature des flux de couverture des terres (lf)	
lf1	Artificialisation
lf2	Extension de l'agriculture
lf3	Conversions internes et rotations
lf4	Gestion et altération des espaces forestiers
lf5	Restauration et création d'habitats
lf6	Changements dus à des causes naturelles et multiples
lf7	Autres changements des terres n.c.a. et réévaluation
lf0	Aucun changement observé de la couverture des terres

Tableau 2 : Flux d'occupation de sol (Weber, 2014)

- **Lf1 ou Artificialisation** : c'est l'extension des zones urbaines et zones connexes, infrastructures de transport. Il s'agit du développement artificiel sur des terres agricoles, développement artificiel sur des forêts.
- **Lf2 ou Extension de l'agriculture** : changement de différents types d'occupation du sol vers l'agriculture.
- **Lf3 ou conversion interne** : les conversions et rotations internes sont des changements qui peuvent être observés à l'intérieur les classes de couverture des terres. Comme par exemple la **conversion interne entre types de culture agricole** : extension des systèmes d'irrigation, conversion entre cultures herbacées et cultures permanentes d'arbustes ou d'arbres ; la **conversion interne entre types de forêt** : conversions entre arbres à feuilles persistantes et à feuilles caduques, passage de peuplements mixtes à peuplements homogènes
- **Lf4 ou gestion et altération des espaces forestiers** : elle inclut les effets de la gestion forestière normale, en particulier l'abattage d'arbres, qu'il soit suivi ou non de replantation. Elle est observée comme étant un passage de couvert arboré à différentes classes de couverture des terres (artificielle et agriculture) utilisées ou non utilisées (sol nu, herbe, buisson, etc...). La création de forêts sur des terres marginales (non forestières) et le recrutement en arbres du à la croissance de jeunes tiges qui font partie de l'espace forestier au sens de l'utilisation des terres. La gestion forestière inclut aussi la protection contre les dangers et la restauration après les dommages. La dégradation du couvert

forestier par le feu, le vent et les ravageurs est donc enregistrée dans la même classe agrégée que l'abattage d'arbres.

- **Lf5 ou restauration et création d'habitat** : elles représentent des flux qui résultent de processus anthropiques par exemple la conversion de cultures en jachères et pâturages, la création de forêts c'est-à-dire le boisement de terres agricoles et le boisement de terres marginales.
- **Lf6 ou changements dus à des causes naturelles et multiples** : les flux de couverture des terres ne peuvent pas être clairement attribués à une activité humaine en particulier. C'est le cas des modifications causées par les changements climatiques liés à la température, aux précipitations et aux tempêtes.
- **Lf7 ou autres changements de terres et réévaluation** : cette classe enregistre les changements peu probables comme la conversion de zones urbaines ou de neige et glaciers permanents en agriculture ou en forêts. La réévaluation correspond à des changements de classification dus à des erreurs dans la base de données initiale.

Année T1																	Total, consommation de couverture des terres		Aucun changement	TOTAL t1
Année T0		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15		99		
Zones urbaines et surfaces artificielles associées	01	If3	If7	If7	If7	If7	If7	If7	If7	If7	If7	If7	If7	If1	If6	If6		If0		
Terres agricoles herbacées homogènes	02	If1	If3	If3	If5	If5	If5	If5	If5	If6	If7	If5	If5	If1	If6	If6		If0		
Plantations agricoles, cultures permanentes	03	If1	If3	If3	If5	If5	If5	If5	If6	If5	If6	If7	If5	If1	If6	If6		If0		
Associations et mosaïques agricoles	04	If1	If2	If2	If3	If5	If5	If5	If6	If5	If6	If7	If5	If1	If6	If6		If0		
Prairies, surfaces en herbe naturelles	05	If1	If2	If2	If2	If3	If5	If5	If6	If5	If6	If7	If5	If1	If6	If6		If0		
Couverture forestière	06	If1	If2	If2	If2	If4	If3	If4	If4	If4	If4	If7	If4	If1	If6	If6		If0		
Couverture de végétation arbustive, broussailles, landes...	07	If1	If2	If2	If2	If6	If5	If3	If6	If6	If6	If7	If6	If1	If6	If6		If0		
Zones de végétation clairsemée	08	If1	If2	If2	If2	If2	If5	If6	If3	If6	If6	If7	If6	If1	If6	If6		If0		
Associations et mosaïques de végétation naturelle	09	If1	If2	If2	If2	If2	If5	If6	If6	If3	If6	If7	If6	If1	If6	If6		If0		
Terres nues	10	If1	If2	If2	If2	If2	If5	If6	If6	If5	If3	If7	If6	If1	If6	If6		If0		
Neiges permanentes et glaciers	11	If1	If6	If6	If6	If6	If6	If6	If6	If6	If6	If3	If6	If6	If6	If6		If0		
Zones humides ouvertes	12	If1	If2	If2	If2	If2	If5	If6	If6	If6	If6	If7	If3	If6	If6	If6		If0		
Surfaces en eau intérieures	13	If1	If2	If2	If2	If2	If5	If6	If6	If6	If6	If7	If6	If3	If6	If6		If0		
Surfaces en eau côtières et zones intertidales	14	If1	If6	If6	If6	If6	If5	If6	If6	If6	If6	If7	If6	If6	If3	If6		If0		
Mer (interface avec la terre)	15	If1	If6	If6	If6	If6	If6	If6	If6	If6	If6	If6	If6	If6	If6	If3		If0		
Total, formation de couverture des terres																				
Aucun changement		99	If0	If0		If0	If0	If0	If0	If0	If0	If0	If0	If0	If0	If0				
TOTAL t2																				

Tableau 3 : Dérivation des flux de couverture des terres de la matrice de changement entre deux dates (Weber, 2014)

Voici le tableau représentant la structure du compte d'occupation du sol. Il est composé de quatre parties : **stocks d'ouverture** (superficie de chaque entité qu'on a au départ du compte), **formation de couverture des terres** (ce sont les superficies des flux classés comme « gains »), **consommation des couvertures** (ce sont les superficies des flux classés comme « perte ») et les **stocks de clôture** (superficie de chaque entité au final)

Comptabilité écosystémique du capital naturel : Compte des stocks et flux de couverture des terres

Unité : km ²															
Classes d'unités de couverture des terres écosystémiques (UCTE)	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	TOTAL
	Zones urbaines et surfaces artificielles associées	Terres agricoles herbacées homogènes	Plantations agricoles, cultures permanentes	Associations et mosaïques agricoles	Prairies, surfaces en herbe naturelles	Couverture forestière	Couverture de végétation arbustive, broussailles, landes...	Zones de végétation clairsemée	Associations et mosaïques de végétation naturelle	Terres nues	Neiges permanentes et glaciers	Zones humides ouvertes	Surfaces en eau intérieures	Surfaces en eau côtières et zones intertidales	Mer (interface avec la terre)
Stocks et flux de couverture des terres															
I. Stocks d'ouverture															
Stocks d'ouverture															
II. Formation de couverture des terres															
F_If1	Artificialisation														
F_If2	Extension de l'agriculture														
F_If3	Conversions internes et rotations														
F_If4	Gestion et altération des espaces forestiers														
F_If5	Restauration et création d'habitats														
F_If6	Changements dus à des causes naturelles et multiples														
F_If7	Autres changements des terres n.c.a. et réévaluation														
Total, formation de couverture des terres															
III. Consommation de couverture des terres															
C_If1	Artificialisation														
C_If2	Extension de l'agriculture														
C_If3	Conversions internes et rotations														
C_If4	Gestion et altération des espaces forestiers														
C_If5	Restauration et création d'habitats														
C_If6	Changements dus à des causes naturelles et multiples														
C_If7	Autres changements des terres n.c.a. et réévaluation														
Total, consommation de couverture des terres															
Changement net de couverture des terres (formation - consommation)															
Aucun changement															
IV. Stocks de clôture															
Stocks de clôture															

Tableau 4 : Compte d'occupation des sols (Weber, 2014)

I.1.2.2 Compte du carbone écosystémique

Le compte du bio-carbone comprend quatre tableaux (récapitulé dans la figure 1):

I.1.2.2.1 Compte de base des stocks et des flux de carbone écosystémique :

Ce compte de base décrit les stocks et les flux de carbone, et les rapports entre les deux. Ce tableau se divise encore en :

- **Le compte de base du carbone écosystémique (CI)** qui est le compte de type de ressource utilisé pour le bio carbone, le carbone contenu dans la biomasse et les produits de la biomasse, et celui du carbonate des coquilles d'organismes aquatiques. Le carbone fossile n'est pas abordé dans sa totalité, mais seulement pour ce qui est de sa présence et de son rôle dans l'écosystème. Les stocks de bio carbone se composent de biomasse aérienne vivante, de litière et de bois mort, de carbone dans les sols, et d'autres sources telles que les stocks de poissons ...

- **Le compte du total des apports nets de bio carbone (C2)** qui décrit la quantité de biomasse produite par une végétation gérée et non gérée, la quantité de biomasse disponible aux fins d'utilisation, la quantité perdue comme conséquence indirecte des activités anthropiques et des perturbations naturelles, et il mesure l'accumulation nette de carbone écosystémique (ANCE) dans chaque écosystème. L'ANCE équivaut à l'absorption de carbone (élimination de CO₂). On y trouve aussi la production primaire nette qui est « une accumulation photosynthétique nette de carbone dans les plantes ... La PPN représente une grande partie de la matière organique qui est consommée par les microbes et les animaux. » (Potter et al., 2012). Elle peut être calculée à partir des indices de végétation (NDVI, EVI ...) (Potter et al., 2007).

- **Prélèvement total de bio carbone dans l'écosystème (C3)** inclut la récolte de cultures agricoles, l'extraction de bois, les autres prélèvements de végétation, et les prélèvements de bio carbone secondaire.

- **Pertes nettes indirectes anthropiques de bio carbone et combustion de biocarburants (C4)** incluent les pertes de bio carbone causées par des changements d'utilisation des terres, des pertes et rejets de bio carbone dans les masses d'eau, des pertes de bio carbone écosystémique dans l'atmosphère et leur combustion.

- **L'utilisation totale de bio carbone écosystémique (C5)** est la somme des prélèvements totaux de bio carbone, des pertes nettes indirectes anthropiques de bio carbone et de la combustion de biocarburants.

- **Les processus et perturbations naturels (C6)** incluent les transferts internes nets entre la végétation et les sols, les sorties naturelles vers d'autres territoires et la mer, et d'autres perturbations naturelles.

- **L'accumulation nette de carbone écosystémique (ANCE) et stocks de clôture (C8 et C9)**: l'ANCE mesure l'augmentation ou la diminution des stocks de biocarbone. Elle est calculée en faisant la différence entre la productivité nette de l'écosystème (PNE) et les différentes utilisations de bio carbone auxquelles on a soustrait les retours, les pertes, la combustion *in situ* et les catastrophes naturelles. Le stock de clôture

1.1.2.2.2 Excédent de ressources accessibles :

Ce n'est pas toute la biomasse qui peut être exploitée comme ressource en bio-carbone, mais seulement l'excédent de cette biomasse. Les stocks de biomasse ne sont pas simplement des stocks qui peuvent être exploités d'une façon semblable aux actifs fossiles ; ils constituent en effet une partie essentielle du système qui reproduit les ressources. L'épuisement de ces

stocks n'est pas seulement la perte d'un bien économique ; il représente une détérioration de la capacité de l'écosystème à se renouveler lui-même. La nécessité d'éviter l'épuisement des ressources naturelles renouvelables est prise en compte dans le calcul des rendements durables.

Le Total des apports nets de bio carbone (gains) (C2) représente les gains ou l'augmentation des stocks enregistrés dans le compte de base. **La correction nette de l'accessibilité (C10)** est la somme algébrique des transferts entre les réservoirs de carbones. **L'excédent net de ressources accessibles [C11]** est la somme du total des apports de bio carbone (C2) et de (C10).

1.1.2.2.3 Utilisation totale de carbone (intérieur et importé, carbone biologique et carbone fossile) :

Le bio-carbone produit sur le territoire national et dans la zone économique exclusive d'un pays n'est pas la seule ressource utilisée par les écosystèmes nationaux et elle n'est pas toujours utilisée exclusivement dans le pays concerné. **L'Utilisation totale de carbone écosystémique [UTCE] (C5)** calculée dans la première partie et par un rappel des deux composantes de cet agrégat : total des prélèvements de bio carbone (C3) et pertes nettes indirectes anthropiques de bio carbone et combustion de biocarburants (C4). Deux indicateurs d'utilisation des ressources sont ensuite calculés. Le premier concerne **l'utilisation directe de bio carbone (C12a)**, qui est la somme de l'utilisation de bio carbone écosystémique intérieur (C5) et des importations de bio carbone. Le deuxième indicateur est la **consommation intérieure de bio carbone (CIB) (C12b)**, c'est l'utilisation directe de bio carbone moins les exportations. On a aussi les flux de carbone fossile et les flux de biocarbone (C13).

1.1.2.2.4 Indices de santé et/ou détresse des écosystèmes :

La capacité des écosystèmes à fournir des services de façon durable dépend de leur étendue et leur quantité, ainsi que d'éléments plus qualitatifs, dont l'état de santé des écosystémique. En ce qui concerne le carbone écosystémique, le renouvellement des ressources en carbone, sa qualité et les conditions de renouvellement, doivent être pris en compte



Figure 1 : Structure du compte du carbone écosystémique (Weber, 2014)

1.1.2.3 Compte des services fonctionnels de l'infrastructure écosystémique

Selon la convention de la diversité biologique (2003) « l'écosystème est un dynamisme complexe des communautés de plante, d'animaux et micro-organisme et son interaction avec l'environnement est l'unité fonctionnelle ». La notion de service écosystémique a été développée pour répondre au besoin de mieux comprendre l'interdépendance entre les écosystèmes et la société. Les services écosystémiques sont définis comme les bénéfices que les êtres humains tirent des écosystèmes (CIRAD, 2013). Par exemple c'est l'écosystème qui fournit notre nourriture, les bois que nous utilisons et il aide aussi dans l'assainissement de l'eau que nous buvons et la purification de l'air que nous respirons. Les activités économiques humaines modifient les services procurés par l'écosystème, et en retour, la réponse de l'écosystème affecte le comportement individuel et collectif. En terme de bien-être humaine, ces adaptations réciproques peuvent être mutuellement bénéfiques, destructives et occasionnellement inexistante (Tschirhart et *al.*, 1987). Le compte de l'infrastructure écosystémique et des services fonctionnels qui en dépendent mesurent la capacité durable des écosystèmes à produire ces services qui ne sont pas directement mesurables en tant que ressources matérielles, comme le sont la biomasse et l'eau.

L'infrastructure écosystémique est décrite à l'aide des concepts et données disponibles. Ceux-ci concernent les unités statistiques ainsi que les données de monitoring et les statistiques à disposition. Les unités statistiques utilisées dans la comptabilité écosystémique sont les UCE, les UCTE (unités fonctionnelles de couverture des terres écosystémiques sont des objets géographiques biophysiques qui peuvent être cartographiés). Les UCE utilisées dans le cadre de la comptabilité des services fonctionnels de l'infrastructure écosystémique sont les unités comptables continentales et marines côtières (UPSE et UMC) ainsi que les unités du système de rivières (USR) qui reflète l'interconnexion des tronçons de rivières et de leur relation aux systèmes terrestres en termes de ruissellement de surface ou de mise en relation par les rivières. Les unités fonctionnelles primaires correspondantes sont respectivement les UCTE (voir compte d'occupation des terres) et les tronçons de cours d'eau homogènes (TCH). Les UPSE (unité paysagère socio-économique) sont classées par types dominants de couverture des terres ou de paysage (TCTD ou TPD). La mer qui s'étend au-delà des unités côtières et l'atmosphère ne sont pas comptabilisées dans les comptes des services fonctionnels de l'infrastructure écosystémique.

UR Aires urbaines et zones artificielles associées

- UR.1 UR montagne
- UR.2 UR hautes terres
- UR.3 UR basses terres
- UR.4 UR zone côtière

LA Agriculture à grande échelle

- LA.1 LA montagne
- LA.2 LA hautes terres
- LA.3 LA basses terres
- LA.4 LA zone côtière

AM Associations agricoles et mosaïques

- AM.1 AM montagne
- AM.2 AM hautes terres
- AM.3 AM basses terres
- AM.4 AM zone côtière

GR Prairie, surfaces en herbe

- GR.1 GR montagne
- GR.2 GR hautes terres
- GR.3 GR basses terres
- GR.4 GR zone côtière

FO Forêts

- FO.1 FO montagne
- FO.2 FO hautes terres
- FO.3 FO basses terres
- FO.4 FO zone côtière

NA Autre couverture des terres dominante

- NA.1 NA montagne
- NA.2 NA hautes terres
- NA.3 NA basses terres
- NA.4 NA zone côtière

ND Aucune couverture terrestre dominante

- ND.1 ND montagne
- ND.2 ND hautes terres
- ND.3 ND basses terres
- ND.4 ND zone côtière

Les catégories ND peuvent être plus détaillées selon le type sous-dominant, p. ex., urbain, agricole ou autre.

Figure 2 : Exemple d'une classification d'UPSE fondée sur sept TCTD et quatre catégories d'altitude

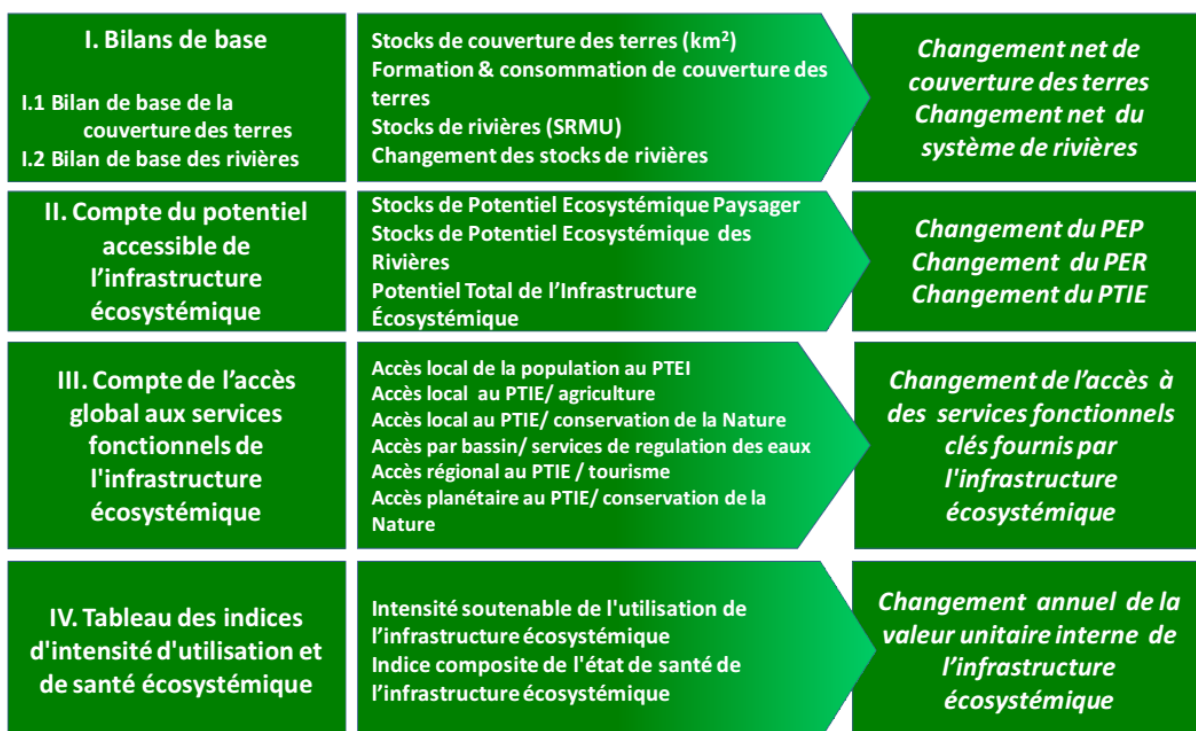


Figure 3 : Structure du compte des services fonctionnels de l'infrastructure écosystémique (Weber 2014)

La figure ci-dessus montre les différentes parties du compte des services fonctionnels de l'infrastructure écosystémiques.

On a déjà vu **les comptes de la couverture des terres** qui ont été présentés en UCTE et en UC. Dans ce compte les unités de mesure sont différentes, on a l'UPSE et l'UMC (voir tableau 5) souvent comptabilisées en km².

Le potentiel accessible de l'infrastructure écosystémique combine des ensembles de données géographiques complètes pour évaluer la capacité de base des écosystèmes à fournir des services fonctionnels. Cela se fait de manière macroscopique, en examinant des éléments distinctifs de l'écosystème. Le nombre d'ensembles de données utilisées est limité en raison de leur disponibilité et parce que des combinaisons trop complexes de plusieurs couches rendraient l'indicateur plus difficilement compréhensible. **Le potentiel de l'infrastructure écosystémique** est un concept flou utile pour la comparaison spatiale des écosystèmes et pour le suivi dans le temps de la dégradation ou de l'amélioration.

Les différents services écosystémiques incorporels disponibles sont répertoriés dans des **comptes fonctionnels spécifiques**, qui comptabilisent tous ces services selon le type de service fourni et incluent une évaluation des bénéfices. C'est d'évaluer l'accès aux services en comparant l'offre et la demande. L'accès se définit comme une occasion d'utiliser un service.

L'accès aux services n'équivaut pas à l'utilisation effective, qui doit être enregistrée dans les comptes fonctionnels des services écosystémiques. Cependant, l'accès potentiel donne une indication utile sur l'importance globale des services incorporels et constitue un lien entre accessibilité et utilisation effective.

Le tableau comptable **des indices d'intensité d'utilisation et de la santé de l'écosystème** combine le potentiel total de l'infrastructure écosystémique (PTIE) avec un diagnostic de santé des écosystèmes basé principalement sur les indicateurs de biodiversité.

Unités de paysage socio-écologiques (UPSE) / type de couverture des terres dominant (CTD)							Sous-total des paysages socio-écologiques	Unités de systèmes rivières (USR) / types d'unités de tronçons de cours d'eau homogènes (TCH)					Sous-total des systèmes rivières	Total des écosystèmes intérieurs	Unités marines côtières écosystémiques (UMC)			Total des écosystèmes intérieurs et côtiers	Pleine mer	Atmosphère
UR	LA	AM	GR	FO	NA	ND		TCH1	TCH2	TCH3	TCH4	TCH5			MC_GR	MC_CR	MC_NC			
<i>Zones urbaines / artificialisées</i>	<i>Grande agriculture</i>	<i>Mosaïques agricoles</i>	<i>Prairies</i>	<i>Couvert forestier</i>	<i>Autre couverture des terres naturelle</i>	<i>Aucune couverture des terres dominante</i>		<i>Grands cours d'eau, drains principaux</i>	<i>Cours d'eau moyens, principaux affluents</i>	<i>Petits cours d'eau</i>	<i>Ruisseaux, petites rivières</i>	<i>Canaux</i>			<i>Herbiers marins</i>	<i>Récifs coralliens</i>	<i>Autre</i>			

Tableau 5 : unités comptables écosystémiques (weber, 2014)

PARTIE II : APPLICATION AU NIVEAU LOCAL CAS DE LA NOUVELLE AIRE PROTEGEE D'ANTREMA

II.1 Zone d'étude

II.1.1 Milieu physique

II.1.1.1 Situation géographique

La nouvelle aire protégée d'Antrema fait partie de la commune rurale de Katsepy, sous-préfecture de Mitsinjo, région de Boeny, province de Mahajanga. Elle se situe entre 15°42' à 15°50' de latitude sud, et 46° à 46°15' de longitude Est (Gauthier et *al.*, 1999). Cette station se trouve à environ 12 km du village de Katsepy.

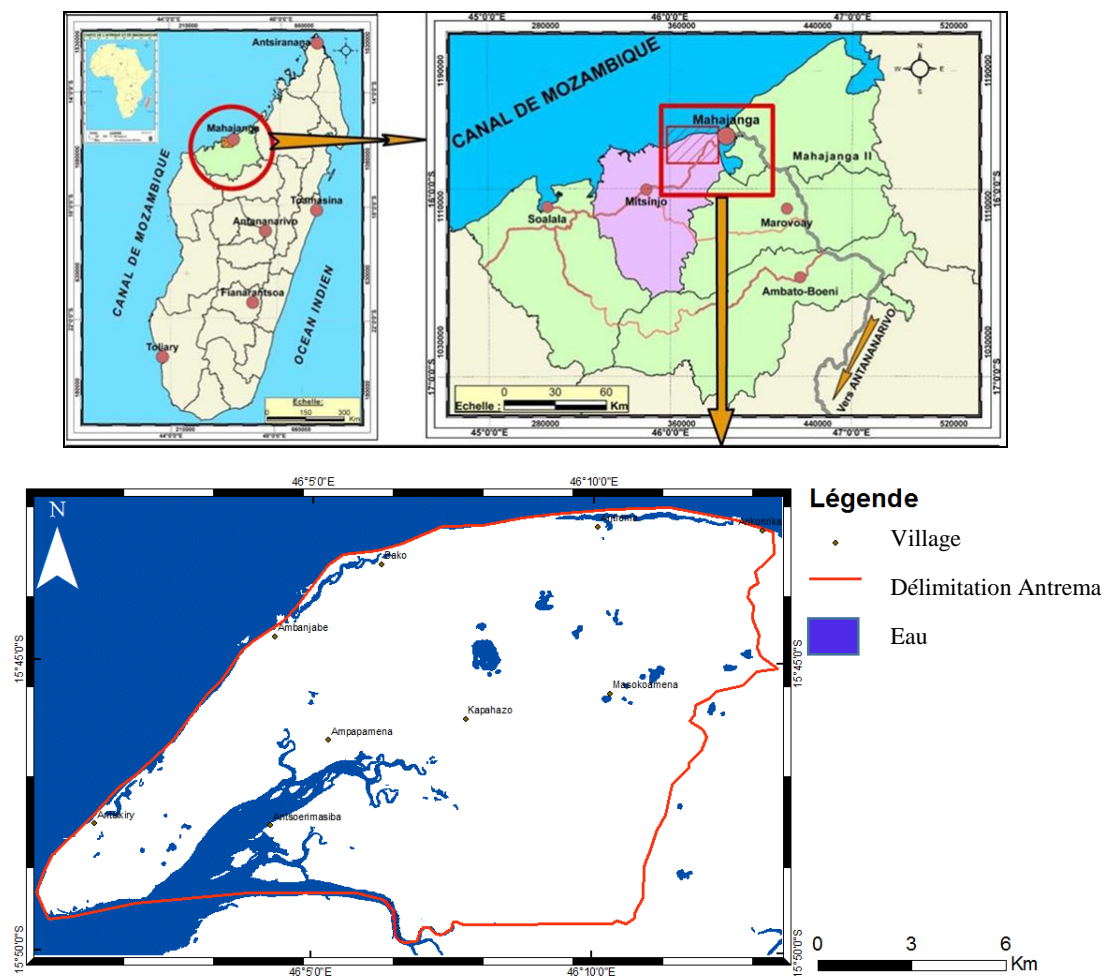


Figure 4 : Situation de la nouvelle aire protégée d'Antrema (Ramihangihajason T., 2015)

II.1.1.2 Relief

Le relief est caractérisé par des plateaux découpés en plusieurs endroits par des vallons et des ruisseaux (Randrianjafy, 1999). L'altitude varie de 0 à 86m, et la partie la plus élevée se trouve à l'Est, aux environs du Phare. En allant vers le Nord, se trouve une falaise de faible dénivellation attribuée aux phénomènes d'érosion. L'altitude ne dépasse guère les 20 m dans la partie Ouest, et elle s'abaisse progressivement vers la mer, au niveau des dunes côtières.

II.1.1.3 Hydrographie

Le réseau hydrographique est constitué par des lacs et des rivières. Il est principalement représenté par les rivières Andranomasibo, Ambatolafia et Antsoherimasiba qui se jettent toutes dans le Canal de Mozambique (Gauthier et *al.* 2000). Certaines sont asséchées durant la saison sèche et d'autres sont alimentées toute l'année. De petits lacs permanents, dont le plus important est le lac Sahariaka, s'individualisent sur les plateaux.

II.1.1.4 Géologie

La zone d'étude appartient au bassin sédimentaire de Mahajanga, constitué par une succession de formations monoclinales. Les plaines alluviales et les mangroves sont les éléments les plus marquants du paysage. Il faut y ajouter un grand développement des carapaces sableuses (Besairie, 1972). La bande littorale de nature sableuse est d'origine marine. A partir du Maestrichtien, une série s'établit jusqu'au Lutétien supérieur. Des transgressions miocènes laissent des dépôts dans la région côtière à l'Ouest de Mahajanga (Besairie, 1972). Aux environs de l'endroit du phare se trouve une formation Pliocène. Les terrasses alluviales sont importantes et forment la vase de mangrove

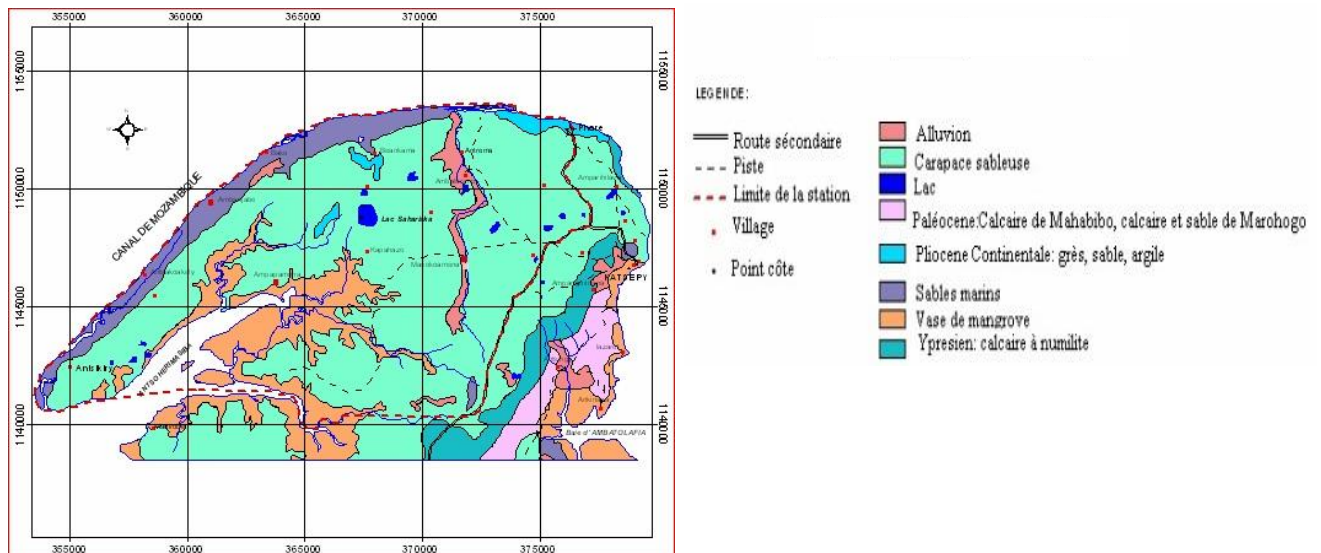


Figure 5 : Extrait de la carte géologique (Service de la Géologie de Madagascar, 1972)

II.1.1.5 Climat

Située à l'abri de l'Alizé, la région occidentale malgache est sous la dépendance du régime du vent de Mousson, avec des pluies estivales et un hiver austral sec (Donque, 1975).

Pour décrire les paramètres climatiques du milieu d'étude, nous avons choisi la station météorologique de la ville Mahajanga, du fait de son appartenance à la même unité climatique régionale.

II.1.1.6 Température

D'après les données climatiques (2000-2010), la température moyenne est de l'ordre de 27°C. Cette valeur indique un climat relativement chaud. La moyenne des températures minimales est de 21°C et celle des maximaux est de 32°C. Le mois le plus froid se situe au mois de juillet et la période la plus chaude correspond au mois de Novembre.

II.1.1.7 Précipitation

La pluviosité moyenne annuelle est de 1454 mm et présente une répartition inégale dans le temps. En moyenne, il pleut 83 jours par an. Le mois de janvier est le mois le plus arrosé (475,6mm) et le minimum de pluviosité, d'une valeur de 0,6mm, a été enregistré au mois de juillet.

II.1.1.8 Humidité relative

Elle est très élevée, surtout pendant la saison de pluie, avec une valeur supérieure à 80%. La valeur moyenne annuelle (71%) peut descendre à 60% au mois de juillet. Cette forte humidité relative peut s'expliquer par la proximité de la mer et une forte rosée matinale.

II.1.1.9 Vents

La vitesse moyenne annuelle de vents est environ de 11 km/h. Le vent du secteur Nord-Ouest prédomine pendant toute l'année.

II.1.1.10 Cyclones

La péninsule fait partie de la région atteinte par 28% des cyclones ayant touché Madagascar depuis 20 ans. Mais la SFA n'est pas épargnée du passage de cyclones. En effet, des cyclones nés dans le canal de Mozambique nommés Kamisy en 1984 et Cynthia en 1991 ont frappé sévèrement la péninsule et ont causé de nombreux dégâts en particulier sur la végétation et la faune. Treize ans après, trois cyclones, Célia, Elita et Gafilo sont passés successivement et ont frappé la station ; de nombreux dégâts étaient aussi recensés (Roger et *al.* 2004).

II.1.2 Milieu biologique

La nouvelle aire protégée d'Antrema présente une extraordinaire richesse naturelle en faune et en flore avec un taux d'endémisme très élevé, jusqu'à 76% (Roger et *al.*, 2006).

Du point de vue phytogéographique, elle fait partie du domaine de l'Ouest selon Humbert (1955) c'est-à-dire qu'elle a la forêt dense sèche semi caducifoliée, caractéristique de l'Ouest, composée de plantes adaptées particulièrement à la sécheresse. La forêt se développe sur des sols ferrugineux, sur des sables et sur des dunes. Il y a aussi des savanes arborées (*Bismarckia nobilis*) et des herbacées, sans oublier les formations halophiles ou mangroves à dominance de *satrana*

Pour ce qui concerne la faune des travaux effectués depuis 1998 par des équipes Franco-Malagasy montrent que la station forestière d'Antrema abrite des richesses faunistiques considérables (Roger et *al.*, 2006) qui sont les insectes, les amphibiens, les reptiles, les oiseaux, les primates et les micromammifères. Les primates sont les espèces les plus importantes car elles sont toutes endémiques

II.1.3 Milieu humain

II.1.3.1 Administration et population

Le « Fokontany » d'Antrema est rattaché à la Commune de Katsepy, du district de Mitsinjo, région Boeny, province de Mahajanga. La Commune de Katsepy est formée par sept « Fokontany » dont un se situe dans la Station Forestière. Les limites du « Fokontany » d'Antrema sont-elles mêmes celles de la Station Forestière. Le nombre de toits de chaque village varie de deux à onze.

Toutes les activités vitales humaines faisant pression sur les ressources de la station justifient ainsi sa dénomination « à usages multiples » ; la population humaine d'Antrema fait partie intégrante de l'écosystème (Roger et *al.*, 2000).

La population locale appartient au groupe ethnique Sakalava-Maroambitsy. Quelques représentants d'autres ethnies ont pu s'intégrer à la communauté par le biais du mariage (Razafindramanana, 1999) comme les Betsileo et les Tsimihety. Il y a aussi des migrants qui font le maximum de profit.

La population a toujours la forme d'organisation sociale, suivant la sagesse, la culture et la richesse qu'un individu possède :

- Présence d'un Ampanjaka nommé Tsimanendry: une autorité traditionnelle locale ;
- Présence d'un comité locale de sécurité et d'un comité dans chaque village ; 21
- Présence d'association Vaomeran'Ny Ala (VNA).

Toute décision importante est prise lors d'une assemblée générale ou d'une réunion dans le lieu où vit l'Ampanjaka. L'Ampanjaka fait office d'arbitre et dont la décision est acceptée par tous. Il est toujours consulté.

II.1.4 Activités socio-économiques

II.1.4.1 Système de production

- **Elevage**

L'élevage est essentiellement bovin. Les « Sakalava » sont de grands éleveurs de bétail mais ils n'en font pas le commerce. Ils pratiquent la thésaurisation. Les bœufs sont laissés en liberté et divaguent de pâturage en pâturage mais quelques-uns sont parqués pendant la saison humide. Il existe des parcs à bœufs où plusieurs propriétaires mettent ensemble leurs zébus et la garde se fait à tour de rôle. Outre le zébu, chaque famille élève des volailles pour sa propre consommation locale et occasionnelle.

- **Pêche**

La pêche est la principale activité des habitants de la région. Il y a plusieurs sortes de pêche, mais la plus répandue et la plus pratiquée par toute la population est la pêche au « Tsivakia », sorte de petite crevette pêchée dans la mer deux fois par mois, surtout pendant la saison sèche. C'est la principale source de revenu de la population locale. Tous les villageois y participent excepté les vieillards et les petits enfants. La pêche en mer est aussi pratiquée tout au long de l'année et il y a des plongeurs qui pêchent des langoustes. Dans la mangrove, les gens vont chercher les crabes.

- **Agriculture**

En matière d'agriculture, la riziculture est une pratique récente pour la plupart de la population. C'est seulement lors de la disette qui a sévi après le passage du cyclone Kamisy que la population s'est mise à planter du riz. Pour ce faire, ils ont aménagé en rizières les zones de mangrove dévastées par le cyclone. Ces zones sont inondées pendant la saison humide et il n'y a donc qu'une seule récolte par an. Les autres cultures sont de la culture de rente comme le raphia et l'anacarde. Les gens commencent à planter de plus en plus d'anacarde, cette culture leur rapporte de l'argent et elle contribue à la reforestation. Le maïs, le manioc et d'autres cultures vivrières sont pratiqués, mais uniquement pour la consommation locale. La culture du pois chiche ainsi que de l'arachide sont interdits par la tradition.

- **Artisanat**

La vannerie est une source de revenu pour les femmes. Elles utilisent les feuilles de palmier (*Bismarckia nobilis* et *Raphia farinifera*) pour fabriquer des paniers et des nattes qui sont vendues dans la commune de Katsepy ou à Mahajanga.

II.1.4.2 Education

Il existe quatre écoles primaires dans le Fokontany d'Antrema malgré l'éloignement entre villages. Peu d'enfants fréquentent l'école. Parmi ces écoles, deux d'entre eux n'ont qu'un seul maître pour tous les niveaux. La plupart des adultes sont analphabètes. Le nombre des jeunes qui ont fréquenté l'école est faible, quelques-uns arrivent jusqu'en secondaire ; mais rare sont ceux qui atteignent le lycée. Ils ont presque tous quitté l'école avant d'avoir le certificat d'étude primaire élémentaire

II.1.4.3 Santé

Dans la zone, il n'existe pas d'hôpital ni de dispensaire. L'hôpital le plus proche se trouve à Katsepy distant de 12 km du village d'Antrema et d'une vingtaine à une trentaine de kilomètres des villages éloignés. Ainsi, le taux de fréquentation de la population locale de cet hôpital est de 26% seulement (Razaiarimino R., 2009). Les gens locaux n'y vont que pour un accouchement ou pour emmener un grand malade.

II.2 Données et méthodes utilisées

II.2.1 Données utilisées

Les données de télédétection utilisées dans cette étude sont des images prises par le satellite SPOT-5 fourni par la station SEAS-OI située sur l'île de La Réunion (figures 6). Ces images sont toutes datées de 2014. Or on a besoin d'image (de la même scène) datée de 2004. Cette image n'est pas disponible donc on a du faire une photo interprétation sur une image fournie par Google Earth.

Le satellite SPOT-5 comprend deux capteurs HRG dérivés des instruments HR VIR de SPOT-4 qui offrent une meilleure résolution : 2,5 à 5 mètres en mode panchromatique et 10 mètres en mode multi spectral.

Les images SPOT sont fournies dans différents niveaux de prétraitement : 1A, 2A, 1B et 2 B

Niveau de prétraitement 1A :

Le prétraitement de niveau 1A consiste à corriger les distorsions radiométriques instrumentales. Les coefficients de calibration absolue incorporés dans les données auxiliaires permettent de convertir en radiance les comptes numériques associés aux pixels. Aucune correction géométrique n'est appliquée et l'image est de forme carrée.

Niveau de prétraitement 1B :

Le niveau de prétraitement 1B comporte en plus des corrections du niveau 1A une correction des distorsions géométriques internes de l'image. Les corrections géométriques appliquées servent à corriger les distorsions internes de l'image causées par les conditions de prise de vue (variation d'attitude du satellite, effet panoramique, courbure et rotation de la Terre, etc.).

Niveau de prétraitement 2A :

La scène est livrée dans une projection cartographique standard (UTM). Les corrections géométriques se basent sur un modèle de ré échantillonnage tenant compte des distorsions dues aux conditions de prise de vue ainsi que des transformations nécessaires pour transposer l'image dans la projection cartographique désirée. Ce modèle est calculé sur la base des paramètres de prise de vue connus a priori (éphémérides du satellite, attitude, etc.) sans apport de mesures

extérieures. En conséquence, la précision de localisation des points au sol est la même que pour le niveau 1 B.

Niveau de prétraitement 2B:

L'image est livrée dans une projection cartographique donnée. L'utilisation de points d'appui permet d'améliorer la localisation des points au sol. Les corrections géométriques se basent sur un modèle de ré-échantillonnage tenant compte des distorsions dues aux conditions de prise de vue ainsi que des transformations nécessaires pour transposer l'image dans la projection cartographique désirée. Les corrections géométriques se basent sur une modélisation de la dynamique de vol de l'engin spatial d'après les paramètres de prise de vue (éphémérides du satellite, attitude, etc.) et des données géographiques ou cartographiques. Ces informations supplémentaires sont constituées par des points d'appui dont les coordonnées cartographiques ou géographiques sont mesurées sur une carte ou au sol (points GPS). Ceci entraîne une amélioration importante de la précision de la localisation de tout point dans l'image, précision qui peut aller de 10 à 30 m.

D'autres informations (éphémérides, altitude, directions de visée, projection cartographique, coordonnées cartographiques du premier pixel, etc.) peuvent être lues dans le donnée auxiliaire de l'image pour entreprendre des traitements géométriques précis.

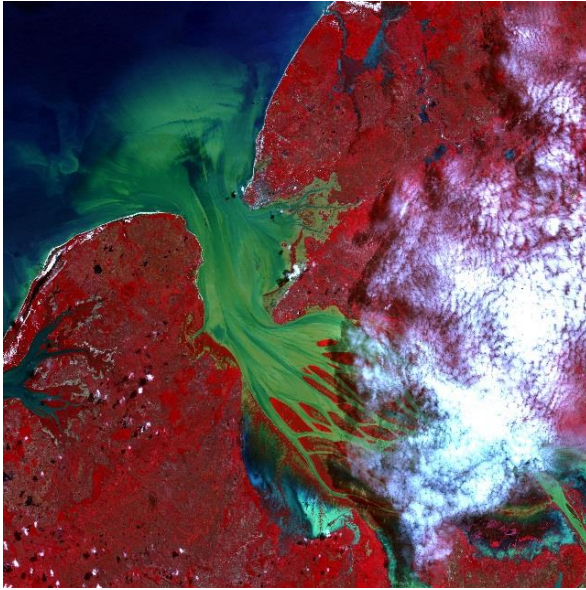
Figure 6 : Les images SPOT-5 utilisées



a) Saison sèche (novembre 2013)



b) Saison sèche (août 2013)



c) Saison humide (mai 2014)

Ces images sont composées de 4 bandes multi-spectrales à 10 m de résolution spatiale. On a une composition colorée en fausse couleur R=XS3, G=XS2 et B=XS1 sur ces trois figures.

Ensuite, les données pour la classification, des coordonnées GPS de chaque entité vérifiées sur le terrain.

Les données comme le taux de carbone par entités, la biomasse sont fournies par des écologues et des résultats d'enquête établies pour connaître le rendement des récoltes, l'utilisation des savanes, des bois ...

La PPN fournit par « Numerical Terradynamic Siulation Group ». Résultat dérivant de MODIS donc il a une résolution spatiale de 1 km.

II.2.2 Méthodes utilisées dans les différents traitements d'images

II.2.2.1 Prétraitements

II.2.2.1.1 Correction géométrique

Les images de télédétection sont acquises sous certaines configurations de visée. L'espace géographique observé a une surface irrégulière. Les images présentent des distorsions dans toutes les dimensions de l'espace. Les principales origines de distorsion géométriques sont l'obliquité de la prise de vue, le mouvement du système de balayage, le relief, la rotation et courbure de la terre. L'ortho-rectification est un processus qui élimine les distorsions géométriques introduites au cours de la capture d'image et produit une image qui a une géométrie planimétrique, comme une carte. Elle permet ainsi, d'attribuer de coordonnées géographiques à l'image. Voici un exemple de correction géométrique faite sur une des images traitées (Figure 7) :

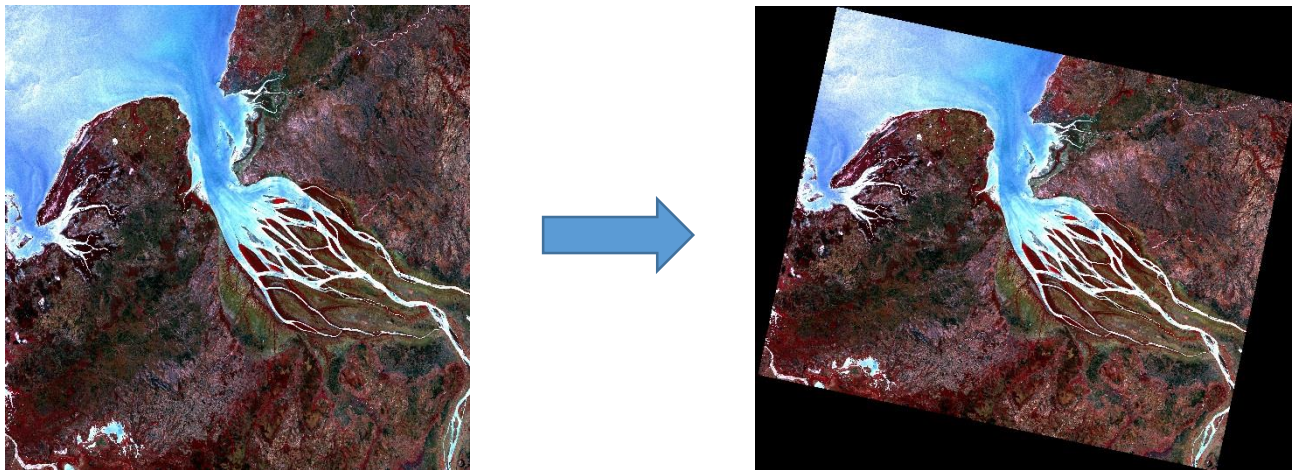


Figure 7 : Correction géométrique

II.2.2.1.2 Fusion d'image

Une fusion d'images consiste à produire une nouvelle image à partir des images qui conserve une partie de l'information contenue dans chacune des images originales (Meinesz et *al.*, 1991). La haute résolution spatiale ayant un intérêt prépondérant, des méthodes permettant d'améliorer la résolution spatiale des images multi bandes ont été développées.

La méthode ARSIS (Amélioration de la Résolution Spatiale par Injection de Structures) développée conjointement par l'Aérospatiale et l'École des mines de Paris (Mitchell, 2010) permet, dans un ensemble d'images de résolution spatiale et spectrale différente, d'amener les images ayant une moins bonne résolution spatiale à la résolution spatiale d'une image à plus haute résolution disponible dans l'ensemble de données. Cependant, la qualité spectrale des images dont on améliore la résolution spatiale est préservée. Les images obtenues peuvent être utilisées à d'autres fins que la simple visualisation et ainsi améliorer, par exemple, la précision des classifications réalisées sur les images multi bandes originales. Elle s'appuie sur la transformée en ondelettes et l'analyse multi résolution (Ranchin et *al.*, 2003).

L'analyse multi résolution permet de calculer des approximations successives d'une même image à des résolutions spatiales de plus en plus grossières (Rioul et *al.*, 1991). Elle peut être représentée par une pyramide dont la base est l'image originale et dont les différentes approximations sont les différents étages de la pyramide. La limite théorique de cette analyse est une image d'un pixel qui représenterait la moyenne de l'image de départ. La différence d'information existant entre deux approximations successives est modélisée par des coefficients

d'ondelettes calculés à partir de la transformation en ondelettes. Les bases d'ondelette sont construites par dilatation et translation d'une fonction unique, appelée ondelette mère. Cette opération d'analyse faisant appel à la transformée en ondelettes est inversible et à reconstruction exacte. Ainsi, à partir d'une approximation de l'image d'origine (un étage de la pyramide) et des images de coefficients d'ondelettes (représentant la différence d'information entre deux approximations successives), il est possible de reconstruire exactement l'image d'origine.

II.2.2.1.3 Néo-canaux utilisés

Pour la classification, on a utilisé des néo-canaux qui sont ;

$$NDVI = \frac{PIR - R}{PIR + R} \text{ (Rouse et al., 1973)}$$

$$NDWI = \frac{PIR - MIR}{PIR + MIR} \text{ (Gao, 1995)}$$

NDVI = Normalized Digital Vegetation Index

NDWI = Normalized Digital Water Index

PIR = bande proche infra-rouge

MIR = bande moyen infra-rouge

R = bande rouge

II.2.2.2 *Classification d'image*

La classification par pixel n'est pas adaptée aux images à très haute résolution (Marpu et al., 2011). La solution est de procéder à une classification orientée objet. Ainsi, l'image issue de traitements faits sur les images SPOT5 sera classifiée par cette méthode.

Si la classification d'image par pixel repose sur analyse des informations contenues dans chaque pixel, la classification orientée objet se fonde sur des informations provenant d'un ensemble de pixels similaires appelés objets. Plus précisément, les objets sont des groupes de pixels qui sont semblables, compte tenu des propriétés spectrales, de leurs tailles, formes et textures, ainsi que le contexte de la zone qui entoure les pixels. Ainsi, l'image sera segmentée en plusieurs objets avant de faire la classification.

II.2.3 Méthodes pour le compte carbone écosystémique

- **Calcul de la PPN** : le modèle fourni pour la PPN est une carte à 1 km de résolution spatiale donc trop vaste pour notre travail. On a vu que la PPN peut être calculé à partir de NDVI (Potter et *al.*, 2007), c'est-à-dire qu'on doit chercher la fonction de corrélation entre PPN et NDVI [$NPP=f(NDVI)$].
- **La respiration hétérotrophique (RH)** sera ensuite calculée à partir de la PPN et on a la relation **$RH=0.6*PPN$**

II.3 Résultats et interprétations

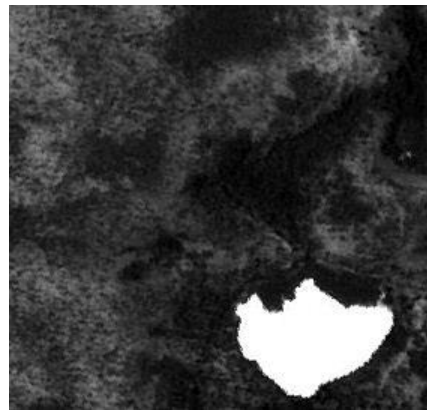
II.3.1 Résultats

II.3.1.1 Fusion d'image

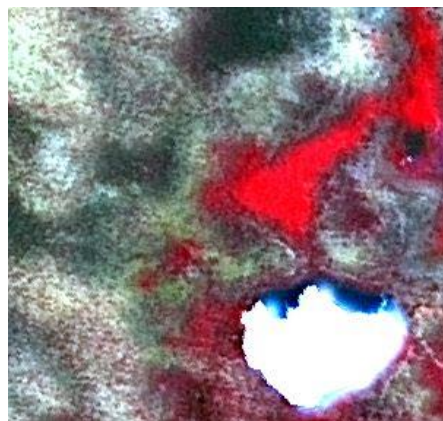
Une scène d'une image SPOT-5 en générale est fournie sous deux modes; l'un est une image multi-spectrale à 10 m de résolution spatiale et l'autre une image panchromatique à 2.5 m de résolution spatiale. Or une image dite THRS est une image qui a une résolution spatiale inférieure à 10 m. Donc on doit faire une fusion, pour cela on a choisi la méthode ARSIS (détaillé dans le paragraphe prétraitement).



a) image multi-spectrale à 10 m de résolution spatiale



b) image panchromatique à 2.5 m de résolution spatiale



c) image multi-spectrale à 2.5 m de résolution spatiale selon la méthode de fusion ARSIS

Figure 8 : Fusion d'images

II.3.1.2 Classification

Pour l'image SPOT datée de 2014, on a utilisé la classification orientée objet. « eCognition » est un logiciel basé sur la méthode de classification orientée objet. L'avantage, c'est qu'on peut avoir plusieurs niveaux de segmentations pour mieux entamer la classification. C'est-à-dire qu'on peut faire une première segmentation très vaste pour ensuite faire la classification des grandes entités (forêt, savane, mangroves...). Après, une seconde segmentation plus fine est prise et suivi de la classification pour mettre en évidence les entités, difficiles à distinguer avec la première segmentation, et les sous-entités (forêt dégradée, forêt intacte...). Une autre segmentation plus fine encore est établie si nécessaire et ainsi de suite. Sur ce voici les différents niveaux de segmentations qu'on a pris :

Niveau 1 : scale = 50 ; compactness = 0.4 ; shape = 0.5

Niveau 2 : scale = 10 ; compactness = 0.1 ; shape = 0.2

La méthode de classification hiérarchique descendante (Ourab *et al.*, 1999) a été utilisée. C'est-à-dire qu'on distingue en premier lieu les grandes classes et ensuite les sous-classes car es quatorze classes de l'UCTE ne permettent pas de définir toutes les classes qu'on peut distinguer dans notre zone d'étude. Donc on doit avoir des sous-classes comme les deux forêts caducifoliées (codée à 061 et 065), les mangroves (codée à 0641 et 0642) ...

. Voici les classes UCTE qui ont été prises :

codage	UCTE
0644	Tanne
10	Sols nus et sable
012	Peuplements humains dispersés (village)
0222	Petits champs de cultures herbacées ou aquatiques
052	Prairies naturelles (savane et savane arborée)
0313	Raphiale
065	Forêt caducifoliée dégradée (dense sèche dégradée)
0642	Mangroves dégradées
132	Lacs
061	Forêt caducifoliée (dense sèche)
0641	Mangroves intactes
131	Estuaire

Tableau 6 : Tableau des classes UCTE

Après la classification voici la carte obtenue et sa matrice de confusion :

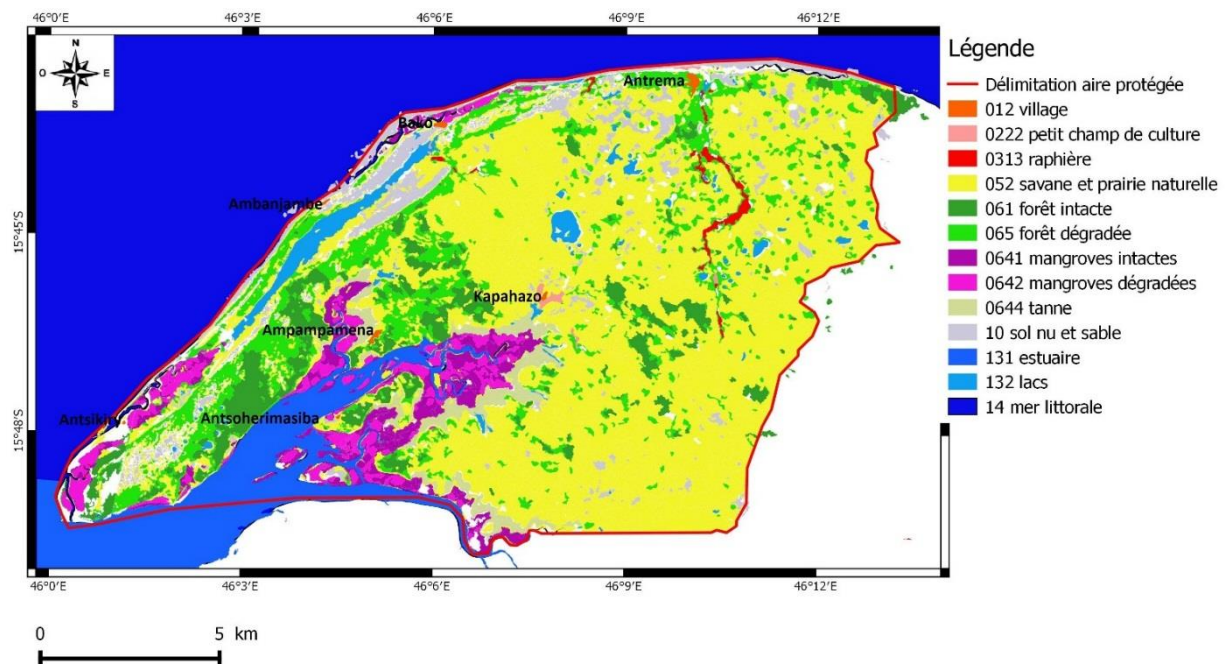


Figure 9 : Carte d'occupation du sol Antrema 2014

class Reference / User	Raphia	eau temporaire	tanne	sable	foret dégradée	man dégradée	man intact	savane arborée	savane	foret intact	EAU	sol nu	Total
Raphia	506503	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	506503
eau temporaire	0	19365	0	0	0	0	0	0	0	0	2984	0	22349
Tanne	0	0	33913	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33913
Sable	0	0	0	490740	0	0	0	0	0	0	0	0	490740
foret dégradée	5997	0	0	0	9325	0	0	0	0	0	0	0	15322
man dégradée	0	0	0	0	0	65969	0	0	0	0	0	0	65969
man intact	0	0	1270	0	0	0	720090	0	0	0	0	0	721360
savane arborée	0	0	0	0	6154	0	0	43825	0	0	0	0	49979
Savane	0	1486	1232	0	0	0	0	1329	12086	0	437	0	16570
foret intact	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21745	0	0	21745
EAU	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31298	0	31298
sol nu	0	0	13338	0	0	0	0	0	0	0	0	9025	22363
Non classifiée	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	46
Total	512500	20851	49753	490740	15479	65969	720090	45154	12086	21745	34719	9071	

Indice K : 0.85

Tableau 7 : Matrice de confusion de la classification effectuée

Pour 2004, on a dit qu'une image à haute résolution spatiale n'était pas disponible donc il a fallu faire une photo-interprétation sur une image obtenue via le site Google Earth. Voici la carte qu'on a obtenue :

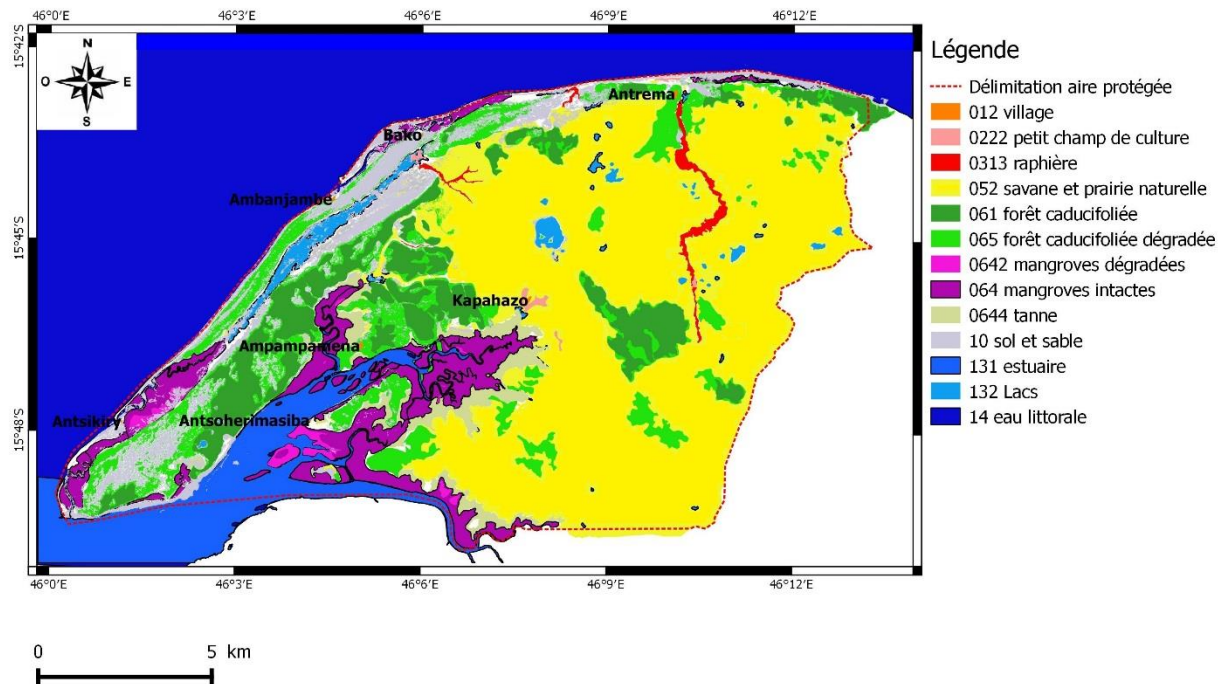


Figure 10 : Carte d'occupation du sol Antrema 2004

II.3.1.3 Détection de changement

Voici le changement observé pendant dix ans :

	012	0222	0313	052	061	065	0641	0642	0644	10	132	Unité ha
	Peuplements humains dispersés (village)	Petits champs de cultures herbacées ou aquatiques	Raphiale	Prairies naturelles (savane et savane arborée)	Forêt caducifoliée (dense sèche)	Forêt caducifoliée dégradée (dense sèche dégradée)	Mangrove intacte	Mangrove dégradée	Tanne	Sols nus	Lacs et réservoirs	TOTAL (2004)
012	Peuplements humains dispersés (village)	10										10
0222	Petits champs de cultures herbacées ou aquatiques		40									40
0313	Raphiale		117	47								164
052	Prairies naturelles (savane et savane arborée)	7		10 324		756				95		11 182
061	Forêt caducifoliée (dense sèche)				1 644	338						1 982
065	Forêt caducifoliée dégradée (dense sèche dégradée)	10		935		1 486						2 431
0641	Mangrove intacte			56			1 076	485	14			1 631
0642	Mangrove dégradée							175				175
0644	Tanne			42					630			672
10	Sols nus	14		328		155				1265		1762
132	Lacs et réservoirs										378	378
TOTAL (2014)		34	47	117	11 732	1 644	2 735	1 076	660	644	1 360	20 427

Tableau 8 : Récapitulatif des changements entre 2004 et 2014

Pour la savane, on peut voir qu'il y a 10324 ha inchangé, 47 ha de raphia transformé en savane, 935 ha de forêts dégradées deviennent des savanes... Par ailleurs, 756 ha de savane aussi deviennent des forêts dégradées, 95 ha de savanes se changent en sol nu...

II.3.1.4 Compte d'occupation des sols

Pour obtenir notre premier compte, on superpose notre tableau de détection de changement avec le tableau composé des flux d'occupation des sols (tableau 9). Les flux seront ensuite reclassés, pour chaque type de couverture de terre, comme consommation ou formation si ce sont des « pertes » ou des « gains », et on obtient le compte d'occupation du sol (tableau 10).

Matrice de classification des flux de couverture des terres (lf...)	Sorties → Entrées ↓	Peuplements humains dispersés (village)	Petits champs de cultures herbacées ou aquatiques	Raphière	Mosaïques de petits champs agricoles et terres naturelles (cultures diverses)	Prairies naturelles (savane et savane arborée)	Forêt caducifoliée (dense sèche)	Forêt caducifoliée dégradée (dense sèche dégradée)	Mangrove intacte	Mangrove dégradée	Mangrove rabougrie	Tanne	Sols nus	Rivières et canaux	Lacs et réservoirs	Eaux côtières, estuaires	Total initial (2004) = lf0 + sorties
		012	0222	0313	043	052	061	065	0641	0642	0643	0644	10	131	132	14	
Peuplements humains dispersés (village)	012	lf0	lf2	lf2	lf2	lf6	lf5	lf6	lf5	lf7	lf7	lf6	lf6	lf7	lf1	lf6	
Petits champs de cultures herbacées ou aquatiques	0222	lf1	lf0	lf3	lf6	lf6	lf5	lf6	lf5	lf7	lf7	lf6	lf6	lf7	lf1	lf6	
Raphière	0313	lf1	lf3	lf0	lf6	lf6	lf5	lf6	lf5	lf7	lf7	lf6	lf6	lf7	lf1	lf6	
Mosaïques de petits champs agricoles et terres n	043	lf1	lf2	lf2	lf0	lf6	lf5	lf6	lf5	lf7	lf7	lf6	lf6	lf7	lf1	lf6	
Prairies naturelles (savane et savane arborée)	052	lf1	lf2	lf2	lf2	lf0	lf5	lf6	lf5	lf7	lf7	lf6	lf6	lf7	lf1	lf6	
Forêt caducifoliée (dense sèche)	061	lf1	lf2	lf2	lf2	lf4	lf0	lf4	lf5	lf7	lf7	lf6	lf6	lf7	lf1	lf6	
Forêt caducifoliée dégradée (dense sèche dégradée)	065	lf1	lf2	lf2	lf2	lf4	lf4	lf0	lf5	lf7	lf7	lf6	lf6	lf7	lf1	lf6	
Mangrove intacte	0641	lf1	lf2	lf2	lf2	lf4	lf4	lf4	lf0	lf5	lf6	lf6	lf6	lf7	lf1	lf6	
Mangrove dégradée	0642	lf1	lf2	lf2	lf2	lf4	lf4	lf4	lf6	lf0	lf6	lf6	lf6	lf7	lf1	lf6	
Mangrove rabougrie	0643	lf1	lf2	lf2	lf2	lf7	lf4	lf4	lf6	lf6	lf0	lf6	lf6	lf7	lf1	lf6	
Tanne	0644	lf1	lf7	lf7	lf7	lf7	lf5	lf6	lf6	lf6	lf6	lf0	lf6	lf7	lf1	lf6	
Sols nus	10	lf1	lf7	lf7	lf7	lf7	lf5	lf6	lf6	lf6	lf6	lf6	lf0	lf7	lf1	lf6	
Rivières et canaux	131	lf1	lf7	lf7	lf7	lf7	lf7	lf6	lf6	lf6	lf6	lf6	lf6	lf0	lf1	lf6	
Lacs et réservoirs	132	lf1	lf7	lf7	lf7	lf7	lf7	lf6	lf6	lf6	lf6	lf6	lf6	lf7	lf0	lf6	
Eaux côtières, estuaires	14	lf1	lf7	lf7	lf7	lf7	lf7	lf6	lf6	lf6	lf6	lf6	lf6	lf7	lf7	lf0	
Total final (2014) = lf0 + entrées																	

Tableau 9 : Tableau de classification des flux d'occupation des sols (Weber, 2015 consultance personnel)

Classification des unités de couverture des terres écosystémiques (UCTE)		012	0222	0313	052	061	065	0641	0642	0644	10	132	TOTAL
		Peuplements humains dispersés (village)	Petits champs de cultures herbacées ou aquatiques	Raphière	Prairies naturelles (savane et savane arborée)	Forêt caducifoliée (dense sèche)	Forêt caducifoliée dégradée (dense sèche dégradée)	Mangroves intactes	Mangroves dégradées	Tanne	Sols nus	Lacs et réservoirs	
Stocks et flux d'occupation des terres													
I. Stocks d'ouverture													
Stocks d'ouverture		10	40	164	11 182	1 982	2 431	1 631	175	672	1 762	378	20 427
II. Formation de couverture des terres													
F_lf1	Développement artificiel	24											24
F_lf2	Développement de l'agriculture		7										7
F_lf3	Conversions et rotations internes				991								991
F_lf4	Gestion et altération des espaces forestiers						338						338
F_lf41	Gestion, coupe et replantation												
F_lf5	Restauration et création d'habitats												
F_lf6	Changements dus à des causes naturelles et multiples				47		911		485	14	95		1552
F_lf7	Autres changements des terres n.c.a. et réévaluation				370								370
Total, formation de couverture des terres		24	7		1 408		1 249		485	14	95		3 282
III. Consommation de couverture des terres													
C_lf1	Développement artificiel						10				14		24
C_lf2	Développement de l'agriculture				7								7
C_lf3	Conversions et rotations internes												
C_lf4	Gestion et altération des espaces forestiers						935	56					991
C_lf41	Gestion, coupe et replantation					338							338
C_lf5	Restauration et création d'habitats			47				485					532
C_lf6	Changements dus à des causes naturelles et multiples				851			14		42	155		1062
C_lf7	Autres changements des terres n.c.a. et réévaluation										328		328
Total, consommation de couverture des terres				47	858	338	945	555		42	497		3 282
Changement net de couverture des terres		24	7	-47	550	-338	304	-555	485	-28	-402		
Aucun changement		10	40	117	10 324	1 644	1 486	1 076	175	630	1265	378	17 145
IV. Stocks de clôture													
Stocks de fermeture		34	47	117	11 732	1 644	2 735	1 076	660	644	1 360	378	20 427

Tableau 10 : Compte d'occupation du sol Antrema

Les nombres qu'on voit à l'intérieur du tableau sont des superficies mesurées en ha. Pour obtenir le changement net de couverture des terres pour une entité, on soustrait la totale des formations avec la totale des consommations. Ainsi les signes négatifs indiquent les pertes distingués entre 2004 et 2014

II.3.1.5 Compte des services fonctionnels de l'infrastructure écosystémiques

Tout d'abord, on doit subdiviser la zone en plusieurs UPSE. Dans notre cas on en a pris trois : zone côtière subdiviser en deux parties (côtière a et côtière b), zone boisé et zone de savane (figure 11).

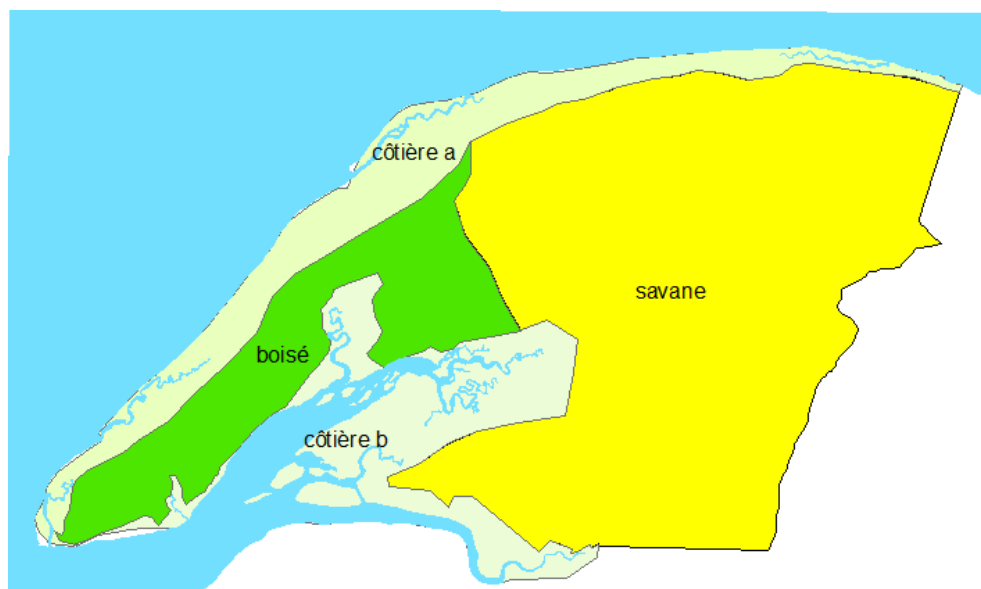


Figure 11 : Subdivision UPSE d'Antrema

Dans la première partie du tableau on verra le bilan de l'occupation des sols. C'est-à-dire que l'on va distribuer notre premier compte suivant ces UPSE.

Dans la deuxième partie on calcule l'indice de fond du paysage vert. Cet indice est une notation conventionnelle des types de couverture des terres en fonction de leur caractère plus ou moins artificiel et/ou vert et de l'intensité d'utilisation des terres tels qu'ils sont déduits de la couverture des terres (Weber , 2014). Il est calculé à partir des notations lissées qu'on attribue pour chaque type d'occupation des terres. Le principe du lissage des données est de prendre en considération l'hétérogénéité interne et les influences externes, et de généraliser les données sans biais statistique. Ce dernier point est particulièrement important car les méthodes de généralisation cartographique ne respectent pas toutes les valeurs statistiques des données

cartographiées. Une des méthodes, qui consiste à donner à une agrégation de cellules la valeur de la catégorie la plus représentée, produit des distorsions arbitraires, ce qui peut être évité en procédant à la généralisation par lissage. Voici les notations qu'on avait attribuées :

Evaluation des paramètres	Degré d'artificialisation	Richesse biodiversité	Fonction écologique	Santé/Etat		
Coefficient	0,5	0,5	0,25	0,25	Valeur/7.5	Valeur/100
Tanne	4	1	2	4	4	53,3
Sol nu	4	1	2	4	4	53,3
Village	1	2	1	4	2,75	36,7
Culture	2	3	1	2	3,25	43,3
Prairie/Savane	4	3	2	3	4,75	63,3
Raphiale	4	4	3	4	5,75	76,7
Forêt dégradée	3	4	4	4	5,5	73,3
Mangrove dégradée	4	4	4	4	6	80,0
Lac	5	3	5	5	6,5	86,7
Forêt	5	5	5	5	7,5	100,0
Mangrove	5	5	5	5	7,5	100,0
Estuaire	5	5	5	5	7,5	100,0
1 : Très faible: +						
2 : Faible: ++						
3 : Moyen: +++						
4 : Elevé: ++++						
5 : Très élevé: +++++						

Tableau 11 : Notation attribuée à chaque type de couverture des terres

Les notes varient de un à cinq. Plus la note est basse plus l'entité est anthropique. Si la note est en-dessus de la moyenne alors l'état du milieu est naturel ou s'en rapproche.

Ensuite, les notes seront lissées pour cela on a utilisé un filtre gaussien avec une grille de 210 m x 210 m.

Comptabilité écosystémique du capital naturel : Comptes des services fonctionnels de l'infrastructure écosystémique							
		SELU/UPSE	a	b		unité ha	
			cotière		boisé	savane	Total
I. Bilans de base							
I.1 Comptes de base des occupations du sol							
012	Peuplements humains dispersés (village)			5.5	2.5	2	10
0222	Petits champs de cultures herbacées ou aquatiques	11.4				28.6	40
0313	Raphière			29	2	133	164
043	Mosaïques de petits champs agricoles et terres naturelles (cultures diverses)						
052	Prairies naturelles (savane et savane arborée)	82	18	127		10955	11182
061	Forêt caducifoliée (dense sèche)	247			1251	484	1982
065	Forêt caducifoliée dégradée (dense sèche dégradée)	509	258		951	713	2431
0641	Mangroves intactes	291	1340				1631
0642	Mangroves dégradées	67	108				175
0644	Tanne		672				672
10	Sols nus	1368	123	253		18	1762
132	Lacs	244		9		125	378
LC1	Stock d'ouverture de couverture des terres (2004)	2819.4	2553.5	2595.5		12458.6	20427
F_if1	Développement artificiel	10	10	3		1	24
F_if2	Développement de l'agriculture					7	7
F_if3	Conversions et rotations internes						
F_if4	Gestion et altération des espaces forestiers	82	99	222		588	991
F_if41	Gestion, coupe et replantation	84		219		35	338
F_if5	Restauration et création d'habitats						
F_if6	Changements dus à des causes naturelles et multiples	305	255	94		898	1552
F_if7	Autres changements des terres n.c.a. et réévaluation					370	370
Formation de couverture des terres 2004							3282
C_if1	Développement artificiel	10	10	3		1	24
C_if2	Développement de l'agriculture					7	7
C_if3	Conversions et rotations internes						
C_if4	Gestion et altération des espaces forestiers	56				935	991
C_if41	Gestion, coupe et replantation	84		219		35	338
C_if5	Restauration et création d'habitats	230	255			47	532
C_if6	Changements dus à des causes naturelles et multiples	94		94		874	1062
C_if7	Autres changements des terres n.c.a. et réévaluation					328	328
Consommation de couverture des terres 2013/14							3282
012	Peuplements humains dispersés (village)	10	15	6		3	34
0222	Petits champs de cultures herbacées ou aquatiques	11.4				35.6	47
0313	Raphière	12				105	117
043	Mosaïques de petits champs agricoles et terres naturelles (cultures diverses)						
052	Prairies naturelles (savane et savane arborée)	379	85	483		10785	11732
061	Forêt caducifoliée (dense sèche)	163			1032	449	1644
065	Forêt caducifoliée dégradée (dense sèche dégradée)	664	117.5	1037.5		916	2735
0641	Mangroves intactes	283	793				1076
0642	Mangroves dégradées	215	445				660
0644	Tanne	58	586				644
10	Sols nus	780	512	28		40	1360
132	Lacs et réservoirs	244		9		125	378
Stock de clôture de couverture des terres 2013/14		2819.4	2553.5	2595.5		12458.6	20427
II. Potentiel de l'infrastructure écologique accessible							
LC1 Stock d'ouverture de l'occupation du sol en ha							
PEP01	Indice de fond du paysage vert (IFPV/GBLI) (moyenne par ha)	70.74	81.76	84.28		62.65	
LC2 Stock final de l'occupation du sol en ha							
PEP01	Indice de fond du paysage vert (IFPV/GBLI) (moyenne par ha)	71.77	73.36	81.48		65.43	

Tableau 12 : Comptes des services fonctionnels de l'infrastructure écosystémique d'Antrema

II.3.1.6 Compte du carbone écosystémique

Dans la première partie du tableau on, a recueilli le taux de carbone à l'hectare pour chaque entité.

Dans la deuxième partie, on a calculé la PPN à partir de la NDVI. C'est-à-dire qu'on a cherché la fonction de corrélation entre NDVI et PPN ($PPN=f(NDVI)$). Voici la relation établie après calcul :

$$PPN=16341.1*(NDVI) + 3717.9$$

La raison de cette démarche c'est que les données PPN, qu'on a pu se procurer au sein de la « Numerical Terradynamic Simulation Group », sont projetées à 1 km donc trop vaste pour notre image de résolution 2,5 m. De même pour la respiration hétérotrophique (RH) on a la relation suivante :

$$RH=0,6*PPN$$

Tout le reste du tableau sont des estimations de la récolte, de l'utilisation des bois (bois de chauffe, bois de construction...), de la vannerie...

Application sur la nouvelle aire protégée d'Antrema

Comptabilité écosystémique du capital naturel : Compte du carbone écosystémique

Unité: tonnes

Classification des unités de couverture des terres écosystémiques (UCTE)		012	0222	0313	052	061	065	0641	0642	0644	10	131	132	TOTAL
		Peuplements humains dispersés (village)	Petits champs de cultures herbacées ou aquatiques	Raphiaie	Prairies naturelles (savane et savane arborée)	Forêt caducifoliée (dense sèche)	Forêt caducifoliée dégradée (dense sèche dégradée)	Mangrove intacte	Mangrove dégradée	Tanne	Sols nus	Rivières et canaux	Lacs et réservoirs	
I. Bilan de base du carbone écosystémique		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C1.1	Biocarbone dans la biomasse aérienne vivante			5220,4	26892,71	461171,8	393506	143811,8	7715,225					1038317,86
C1.2	Biocarbone dans la litière et le bois mort													
C1.3	Biocarbone dans les sols													
C1.4	Autres réservoirs de biocarbone écosystémique													
C1.5	Biocarbone dans le système de ressources et d'emploi économiques	12												
C1	Stocks d'ouverture	12		5220,4	26892,71	461171,8	393506	143811,8	7715,225					1038317,86
C2.3	PPN (Production primaire nette)	6204,6	5291,4	11984,2	6922,6	12777,2	11317,7	12981,2	9188,8	3551	4355,4			84574,1
C2.4	Respiration secondaire des écosystèmes (hétérotrophe)	3722,76	3174,84	7190,52	4153,56	7666,32	6790,62	7788,72	5513,28	2130,6	2613,24			50744,46
C2.a	PEN (Production écosystémique nette) = C2.3 - C2.4	2481,84	2116,56	4793,68	2769,04	5110,88	4527,08	5192,48	3675,52	1420,4	1742,16			33829,64
C2.5	Augmentation nette des stocks de biocarbone secondaire													
C2.6	Apports de biocarbone venant d'autres pays et de la mer	4												4
C2.7	Retours de production (résidus, fumier, rejets)													
C2.8	Retours de consommation (boues, eaux usées, déchets solides)	12												12
C2.b	Sous-total de la ressource en biocarbone secondaire	16												16
C2	Total des apports nets de biocarbone (gains) = C2.a+C2.b	2497,84	2116,56	4793,68	2769,04	5110,88	4527,08	5192,48	3675,52	1420,4	1742,16			33845,64
C3.1	Récolte de produits agricoles		14											14
C3.2	Prélèvements de résidus agricoles et sous-produits (paille, etc.)													
C3.3	Végétation broutée par le bétail													
C3.4	Récolte de bois					22	9	10						41
C3.5	Prélèvements de résidus forestiers													
C3.6	Autres prélèvements de végétation (produits forestiers non ligneux, algues, etc.)			1	329									330

C3.a	Récolte de produits agricoles, de bois et d'autres végétaux		14	1	329	22	9	10						385
C3.7	Prélèvements de biocarbone animal													
C3.8	Autres prélèvements de biocarbone (y compris la tourbe)													
C3.b	Prélèvements de biocarbone secondaire													
C3	Prélèvement total de biocarbone = C3.a+C3.b		14	1	329	22	9	10						385
C4.1	Perte nette indirecte de biocarbone due à de l'utilisation des terres													
C4.2	Rejets et pertes de biocarbone dans les masses d'eau													
C4.3	Emissions de biocarbone écosystémique dans l'atmosphère													
C4	Pertes nettes indirectes anthropiques de biocarbone et combustion de biocarburants													
C5	Utilisation totale de carbone écosystémique [UTCE] = C3+C4		14	1	329	22	9	10						385
C6	Processus et perturbations naturels													
C7	Total des sorties nettes de biocarbone (pertes)		14	1	329	22	9	10						385
C8.1	Accumulation Nette de Carbone Écosystémique 1 [ANCE1, flux] = Gains Pertes = C2C7	2497,84	2102,56	4792,68	2440,04	5088,88	4518,08	5182,48	3675,52	1420,4	1742,16			33460,64
C8.2	Ajustement et réévaluations													
C8.3	ANCE 2 [Stocks] = Changements dans les stocks de biocarbone													
C9.1	Biocarbone dans la biomasse vivante aérienne													
C9.2	Biocarbone dans la litière et le bois mort													
C9.3	Biocarbone dans le sol													
C9.4	Autres réservoirs de biocarbone écosystémique													
C9.5	Biocarbone dans le système d'approvisionnement et d'utilisation													
C9	Stocks de clôture = C1+C8.1+C8.2 ou = C1+C8.3	2509,84	2102,56	10013,08	29332,75	466260,6	398024,1	148994,3	11390,75	1420,4	1742,16			1066700,61
II. Compte de la ressource écosystémique accessible														
C2	Total des apports nets de biocarbone (gains) = C2.a+C2.b	2437,54	2117	4794	2769	5111	4527	5192	3676	1420	1742			33785,54
C10.1	Stock de base accessible reporté à nouveau des années précédentes [+]													
C10.2	Restrictions d'utilisation [-]													
C10.3	Résidus de la production de biomasse [-]													
C10.4	Résidus de la consommation de biomasse [= C2.8] [-]													
C10.5	Réutilisation circulaire des résidus de production et de consommation [+]													
C10.6	Sorties naturelles vers d'autres territoires et la mer = C6.1 [-]													
C10.7	Autres ajustements du biocarbone accessible [+ or -]													

C10.8	Ajustement du carbone total stockable dans l'atmosphère													
C10	Ajustement net de l'accessibilité													
C11	Excédent net de carbone écosystémique accessible [ENCEA] = C2+C10													

III. Compte de l'utilisation totale de biocarbone et géocarbone														
C3	Prélèvement total de biocarbone = C3.a+C3.b		14		330	22	9	10						385
C4	Pertes nettes indirectes anthropiques de biocarbone et combustion de biocarburants													
C5	Utilisation totale de carbone écosystémique [UTCE] = C3+C4		14		330	22	9	10						385

IV. Tableau des indices d'intensité d'utilisation et de santé écosystémique														
C15 [ISUC]	Intensité soutenable de l'utilisation du carbone écosystémique = C11/C5													
C16.1	Changements dans l'âge moyen des forêts													
C16.2	Autonomie par rapport aux intrants artificiels/ Carbone total = C2 /C14b													
C16.3	Autonomie par rapport aux intrants artificiels/ Autre													
C16.4	Changements dans la vulnérabilité face aux feux de forêt													
C16.5	Acidification causée par le CO2													
C16.6	Autre indicateur...													
C16.x	Autre indicateur...													
C16 [ICES]	Indice composite de l'état de santé du carbone écosystémique													
VUEI	Valeur unitaire écosystémique interne (changt) = AVG(C15 [ISUC]+C16 [ICES])													

Tableau 13 : Compte du carbone écosystémique Antrema

II.3.2 Interprétation

Nos comptes nous montrent les différentes variations de l'occupation du sol. Tous d'abord on peut constater que les villages ou plutôt son empreinte a augmenté durant dix ans. Evidement cette augmentation va à son tour entrainer une déforestation considérable. On peut voir cela dans le déclin des raphiales (-47 ha), les forêts (-338 ha) et les mangroves (-555 ha). Ces résultats ont été ensuite détaillés dans notre deuxième compte. On peut constater que la déforestation est importante dans la zone boisée malgré les recrus forestiers constatés dans la zone de savane. Cette création est justifiée par l'augmentation de l'indice de fond de paysage verte de la zone (de 62.65 à 65.43). Mais par contre l'augmentation des villages entraine aussi l'augmentation des surfaces agricoles (40 ha en 10 ans). Une bonne chose pour le développement mais néfaste pour l'écosystème.

L'évaluation du stock de carbone de la savane à *Bismarckia nobilis* semble nous montrer que cette savane présente une potentialité de stockage de carbone. Elle pourrait être un puits de carbone à long terme avec ses 26 893 tonnes de carbone en 2004 et 28 215 en 2014. Ce qui montre qu'il y a une augmentation vu que la superficie de la savane augmente. Les formations forestières de la NAP Antrema possèdent une potentialité les plus importants en stock de carbone :

- forêt caducifoliée 461 171 tonnes de C en 2004 et 466 260 en 2014
- mangroves intactes 143 811 tonnes de C en 2004 et 148 994 en 2014.

La potentialité la plus faible ici mais non négligeable par rapport à celle des autres formations végétales telles que les savanes est celle des mangroves dégradées 7 715 tonnes de C en 2004 et qui ont augmentés en 10 an avec un taux de 11 390 tonnes de carbone. Le stock de carbone moyen varie donc d'une formation à l'autre

PARTIE III : EXTRAPOLATION DES RESULTATS CAS DE LA REGION BOENY

III.1 Zone d'étude

Description de la région Boeny (ONE, 2010)

III.1.1 Situation géographique

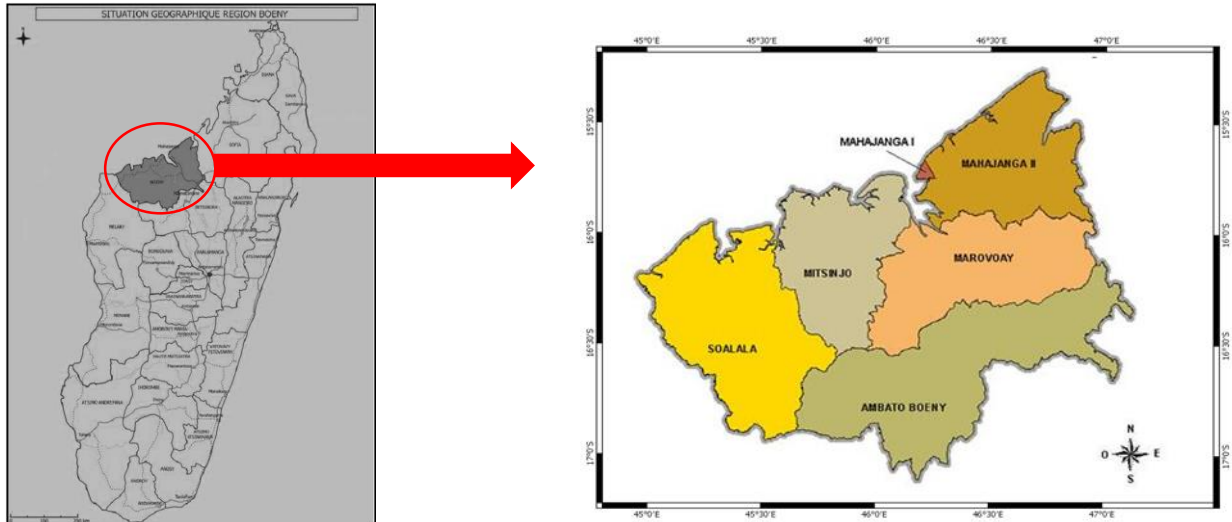


Figure 12 : Région Boeny

III.1.2 Territoire et occupation du sol

- La région de Boeny localisée dans le Nord-Ouest de Madagascar s'étend sur une superficie de 32 386 km² et comporte une longue façade maritime (environ 686 km) bordée par le Canal de Mozambique. •Elle est délimitée à l'E par la Région de Sofia, au Sud par la région de Betsiboka et à l'Ouest par la région de Melaky. •Chef-lieu administratif de la région : Mahajanga ; nombre de communes : 43 réparties entre 6 districts : Mahajanga I, Mahajanga II, Mitsinjo, Soalala, Marovoay et Ambato-Boeni.

- Les écosystèmes naturels occupent 86% de la superficie du territoire en 2000 dont 28% de formations boisées (forêts et mangroves) et 56% de formations herbeuses (savanes et pseudo-steppes), les parties restantes étant formées par les plans d'eau et les zones marécageuses. Les zones agricoles consacrées aux cultures (vivrières, industrielles et de rente) ne couvrent qu'environ 7% du territoire.

III.1.3 Environnement physique

- Géologie et topographie: Zone de basse altitude (0-330 m) constituée de terrains sédimentaires reposant sur le socle ancien cristallin où se distinguent notamment des cuestas et plateaux formés par des calcaires jurassiques et grès crétacés (Massif de l'Ankarafantsika,

Tsingy de Namoroka), des plaines alluviales vers l'intérieur des terres (Marovoay, Madirovalo) et une longue plaine côtière partant des environs de Soalala à l'O jusqu'à l'embouchure du Mahajamba au NE.

- Pédologie: trois grands types de sols d'origine ferrugineux tropicaux : les sols des tanety latéritiques rouges (AmbatoBoéni, Soalala, Mitsinjo, Marovoay et Mahajanga II), les solshydromorphes des bas-fonds ou de plaines (parties amonts où commencent les mangroves : Mahavavy, Betsiboka et Mahajamba) et les « baiboho » sur les bourrelets de chaque berge des grands fleuves précédents.

- Climat: type tropical chaud avec deux saisons marquées: l'une chaude et pluvieuse de 3 à 5 mois de novembre à mars, et l'autre sèche de 7 à 9 mois d'avril à octobre. Lapluviosité moyenne annuelle varie entre 1000 mm et 1500 mm et les températures moyennes annuelles sont de 22° à 25° C.

- Hydrographie: Région largement drainée par un réseau hydrographique particulièrement dense qui met à sa disposition un capital d'eau considérable, susceptible de dynamiser les activités (transport fluvial et maritime, alimentation en eau, pêche, agriculture, énergie hydroélectrique). Principaux lacs et fleuves : lac Kinkony ; fleuves Betsiboka, Mahajamba et Mahavavy.

III.1.4 Environnement écologique et biologique

La région de Boeny se trouve dans l'écotone de l'ouest caractérisée par la présence de forêts tropicales denses sèches caducifoliées qui figurent parmi les plus menacées au monde. Son territoire comportant une longue façade littorale tournée vers le Canal de Mozambique inclut encore de très belles formations de mangroves. Bien que des zones assez représentatives de ces écosystèmes se trouvent déjà dans un certain nombre d'aires protégées de la région (Tsingy de Namoroka, Ankarafantsika, Baïede Baly, Complexe Mahavavy-Kinkony), leurs plus grandes parties restent soumises aux risques et menaces des diverses activités humaines. La déforestation et les feux de végétation sont parmi les pratiques les plus dévastatrices affectant ces habitats naturels de la région dotée d'une grande richesse en espèces faunistiques et floristiques. La plupart d'entre elles sont des espèces endémiques et souvent menacées d'extinction si bien que plusieurs bénéficient d'un statut de protection ou de conservation sur le plan national et au niveau international.

III.1.5 Situation économique de la région

Les activités économiques de la région (Ministère de l'environnement et *al.*, 2010) sont les suivants :

III.1.5.1 Pêche et aquaculture :

Avec les 630 Km de côte, les 9000 ha de terrains aménageables en aquaculture et plus d'une centaine de lacs, la pêche et l'aquaculture constituent le poumon de l'économie régionale.

III.1.5.2 Agriculture :

Le réseau hydrographique particulièrement dense, les bonnes conditions climatiques, géologiques et pédologiques confèrent à la Région Boeny une vocation agricole, avec une forte potentialité en cultures vivrières, de rente et fruitière. L'anacarde, le coton, le tabac, la canne à sucre connaissent une grande expansion. Certaines filières sont appelées à se développer, telles les cultures maraîchères (tomates, concombres), et la culture d'arachides huilières. La culture rizicole tient une première place pour une production destinée au marché régional et national (Marovoay constitue un grenier à riz pour Madagascar).

III.1.5.3 Tourisme :

L'écotourisme, le tourisme balnéaire, le tourisme culturel, le tourisme d'affaires, ou le tourisme cynégétique peuvent y être proposés. On trouve 3 parcs nationaux dans la Région.

III.1.5.4 Energie et Mines :

L'énergie utilisée pour l'éclairage des villes et pour l'usage du secteur privé est à base thermique. Les chefs-lieux de districts sont électrifiés. Certains villages le long de la RN4 sont éclairés avec des panneaux solaires. Le pétrole lampant assure l'éclairage de la plupart des foyers ruraux. Le charbon de bois constitue le principal combustible à usage domestique.

Les ressources minières de la Région correspondent principalement à des produits à vocation

III.1.5.5 Industrielle :

Un gisement de fer (réserves de 300 millions de tonnes de minerai) à Soalala, de célestite dans le district de Mitsinjo, des dérivées de roches calcaires, de gypse à Mahajanga II, des ammonites et des fossiles dans la zone de Marovoay et Ambato-Boeny.

III.1.5.6 Secteur forestier :

Les conditions naturelles de la Région Boeny contribuent à la diversification des formations végétales qui offrent d'importantes ressources allant des bois d'œuvre aux bois précieux, en passant par les fibres végétales telles le raphia et le satrana. Les ressources forestières de la Région s'étalent sur une surface de 667640 Ha. Les unités de

transformation sont peu nombreuses, la plupart est concentrée à Mahajanga I et évolue dans l'informel.

III.1.5.7 Artisanat :

Compte tenu des richesses en matières valorisables tels les bois précieux, le célestite, les sous-produits de bovidés, le raphia, le satrana, l'artisanat constitue pour la majorité de la population une source de revenu d'appoint.

III.1.5.8 Investissements privés :

En nombre, les investissements privés se concentrent principalement dans le secteur tertiaire : services, commerces, hôtellerie et restauration. Le domaine de l'halieutique (pêche et aquaculture) tient une place importante en termes de volume d'investissement et d'emplois.

III.2 Données et méthodes utilisées

III.2.1 Données

On a disposé de deux images LANDSAT-5 (2004) et LANDSAT-8 (2014). Leurs caractéristiques seront détaillées dans le tableau suivant :

	LANDSAT-5	LANDSAT-8
bandes spectrales	1 (Bleu) [0,45-0,52 μm] 2 (V) [0,52-0,60 μm] 3 (R) [0,63-0,69 μm] 4 (IR) [0,76-0,90 μm] 5 (IRM) [1,55-1,75 μm] 6 (IRT) [10,4-12,5 μm] 7 (IRM) [2,08-2,35 μm]	1 (Aérosol) [0,43-0,45 μm] 2 (B) [0,45-0,515 μm] 3 (V) [0,52-0,60 μm] 4 (R) [0,63-0,68 μm] 5 (PIR) [0,84-0,88 μm] 6 (MIR) [1,56-1,66 μm] 7 (MIR) [2,10-2,30 μm] 8 (Pan) [0,5-0,68 μm] 9 (Cirrus) [1,36-1,39 μm] 10 (IRT) [10,30-11,30 μm] 11 (IRT) [11,50-12,50 μm]
Résolution spatiale	Bande 6 = 120 m le reste à 30 m	Bande 8 = 15 m Bande 10 & 11 = 120 m le reste à 30 m
Map projection	UTM-38S	UTM-38S
Datum	WGS 84	WGS 84
Format de fichier	GéoTIFF	GéoTIFF
Niveau de correction	Level 1T (correction de terrain)	Level 1T (correction de terrain)

Tableau 14 : Caractéristiques des images LANDSAT 5 et LANDSAT 8 (NASA, 2013)

III.2.2 Méthodes

III.2.2.1 Classification : le réseau de neurone

Pour la classification proprement dite, on a choisi de faire une classification supervisée avec un Réseau de Neurones artificiels (RNA). La classification supervisée part d'une connaissance du terrain et du choix d'un certain nombre de sites-tests bien identifiés, qui fourniront des échantillons utilisés pour faire la classification (Beucher S., 1990). Un réseau

de neurones artificiels est un modèle de calcul dont le fonctionnement schématique est inspiré du fonctionnement des neurones biologique.

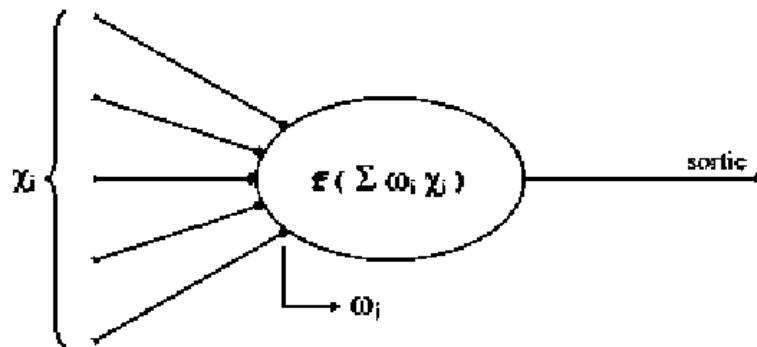


Figure 13 : Schéma d'un neurone artificiel

f : fonction d'activation, w_i : poids attribué à l'entrée x_i

Chaque neurone calcule une somme pondérée de ses entrées (ou synapses) et retourne une valeur en fonction de sa fonction d'activation. Cette valeur peut être utilisée soit comme une des entrées d'une nouvelle couche de neurones, soit comme un résultat qu'il appartient à l'utilisateur d'interpréter. Les fonctions d'activation les plus utilisées sont la fonction identité, la fonction sigmoïde et la fonction logistique. Un réseau de neurones artificiels est constitué d'unités (les neurones) et de liens dirigés et pondérés (les connexions). Les connexions lient les neurones entre eux. Elles créent le réseau en joignant les sorties aux entrées (axones → dendrites, dans le cas biologique). En créant une topologie adéquate à un problème donné, les RNA permettent de résoudre des problèmes où il est difficile de définir un ensemble de règles logiques claires. De plus, ces réseaux sont généralement très tolérants au bruit sur les entrées. Les neurones étant généralement organisés par couche, on nomme ainsi les couches suivant le type de neurones qu'elles contiennent : la couche d'entrée, la ou les couches cachées ainsi que la couche de sortie (input layer, hidden layer, output layer). La principale étape du RNA est l'apprentissage.

L'apprentissage consiste à adapter la connaissance du RNA au problème posé. La connaissance étant définie par l'ensemble des pondérations sur les liens du réseau ainsi que par sa topologie, l'apprentissage est donc étroitement lié au réglage adéquat des poids d'interconnexion, ainsi qu'à l'adaptation de la topologie. Dans le contexte de ce travail, l'apprentissage est supervisé. Le déroulement d'un apprentissage supervisé nécessite un superviseur. C'est-à-dire que chaque entrée d'entraînement sera accompagnée de sa sortie souhaitée. Ainsi le réseau peut comparer cette sortie souhaitée et la sortie réelle, évaluer la

différence entre les deux (erreur), et suivant l'algorithme de correction, améliorer le paramétrage des pondérations (les pondérations étant initialisées aléatoirement).

III.2.2.2 Détection de changement : la méthode iMAD

iMAD est l'amélioration de la méthode MAD. La transformation MAD est une technique de détection de changement proposée par Nielsen et Conradsen. Elle est basée sur la technique statistique multi variée ACC (l'Analyse canonique des Corrélations) qui est une étude de la relation entre deux groupes de plusieurs variables. Le but dans ACC est de trouver plusieurs couples de combinaison linéaire des variables (la première combinaison linéaire d'un couple est une combinaison linéaire des variables du premier groupe de variables et l'autre une combinaison linéaire du deuxième groupe de variables). Comme la plupart des méthodes de détection de changement, iMAD est d'autant plus performant si le taux de changement est faible (Wiemker et *al.*, 1997).

III.3 Résultats et interprétations

III.3.1 Classification

Voici les cartes et les matrices de confusions obtenues à partir de la classification :

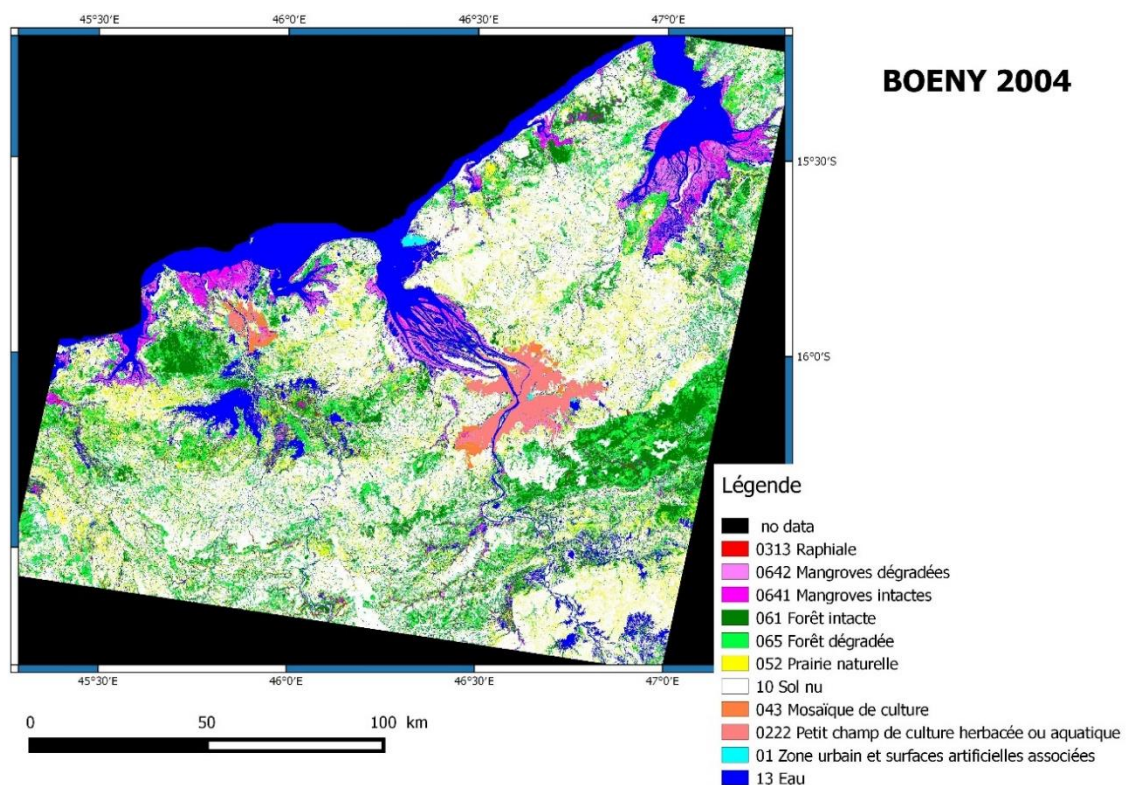


Figure 14 : Cartographie de la région Boeny 2004

utilisé \ contrôle	raphiale	man deg	man int	for int	for deg	sav	sol	mosaic cult	vile	riz	eau	Total
unclassified	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
raphiale	100	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	102
man deg	0	44	25	0	0	0	0	0	0	11	0	80
man int	5	16	103	0	0	0	0	0	0	0	0	124
for int	7	0	0	591	21	0	0	0	0	2	0	621
for deg	3	0	0	38	113	6	0	0	0	0	0	160
sav	0	0	0	0	8	12	11	0	0	0	0	31
sol	0	0	0	0	1	13	111	36	0	0	0	161
Mosaic cult	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
vile	0	0	0	0	0	0	0	0	74	0	0	74
riz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	91	0	91
eau	22	0	2	0	0	10	0	0	0	0	212	246
Total	137	61	131	629	143	41	122	36	74	104	212	
Overall Accuracy = (1451/1690) 85.8580%												
Kappa Coefficient = 0.825!												

Tableau 15 : Matrice de confusion Boeny 2004

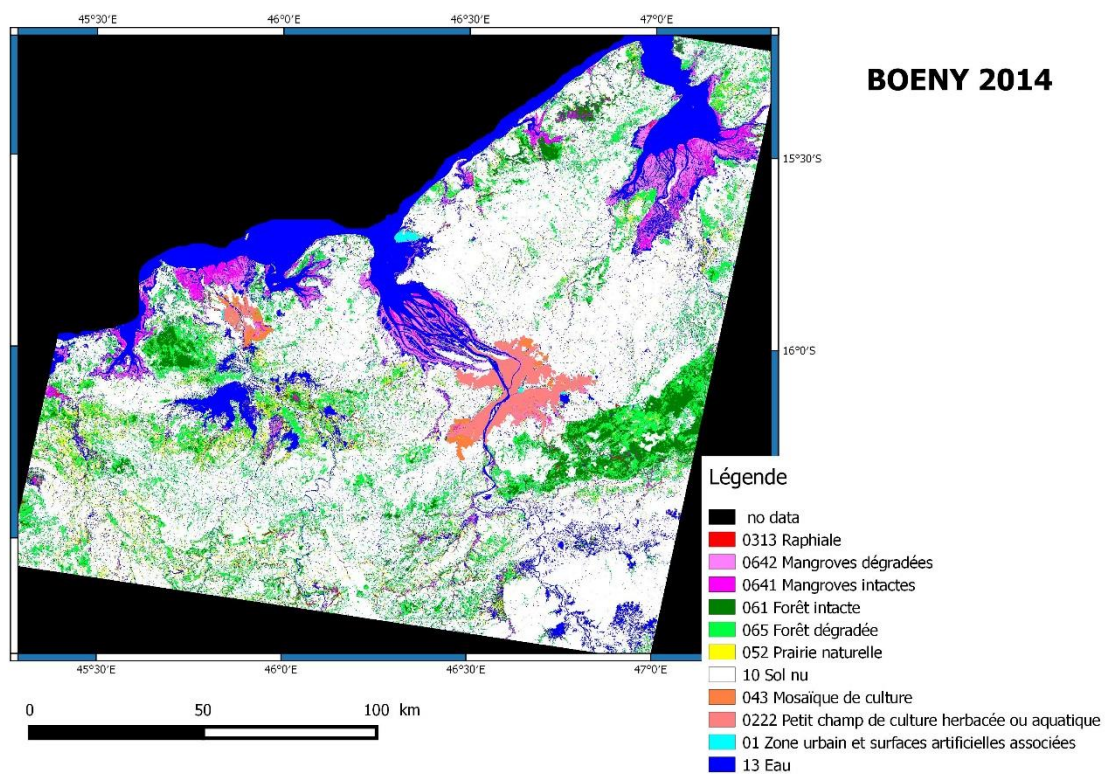


Figure 15 : Cartographie de la région Boeny 2014

utilisé contrôle	raphiale	man deg	man int	for int	for deg	sav	sol	mosaic cult	riz	ville	eau	Total
unclassified	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
raphiale	100	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	102
man deg	0	44	32	0	0	0	0	0	0	11	0	87
man int	6	16	96	0	0	0	0	0	0	0	0	118
for int	6	0	0	583	18	0	0	0	0	2	0	609
for deg	3	0	0	46	114	1	0	0	0	0	0	164
sav	0	0	0	0	9	6	0	0	0	0	0	15
sol	0	0	0	0	2	24	122	0	0	0	0	148
Mosaic cult	0	0	0	0	0	0	0	36	0	0	0	36
riz	0	0	0	0	0	0	0	0	91	0	0	91
ville	0	0	0	0	0	0	0	0	0	74	0	74
eau	22	0	2	0	0	10	0	0	0	0	212	246
Total	137	61	131	629	143	41	122	36	104	74	212	
Overall Accuracy = (1442/1690) 85.3254% Kappa Coefficient = 0.819												

Tableau 16 : Matrice de confusion Boeny 2014

III.3.2 Détection de changement

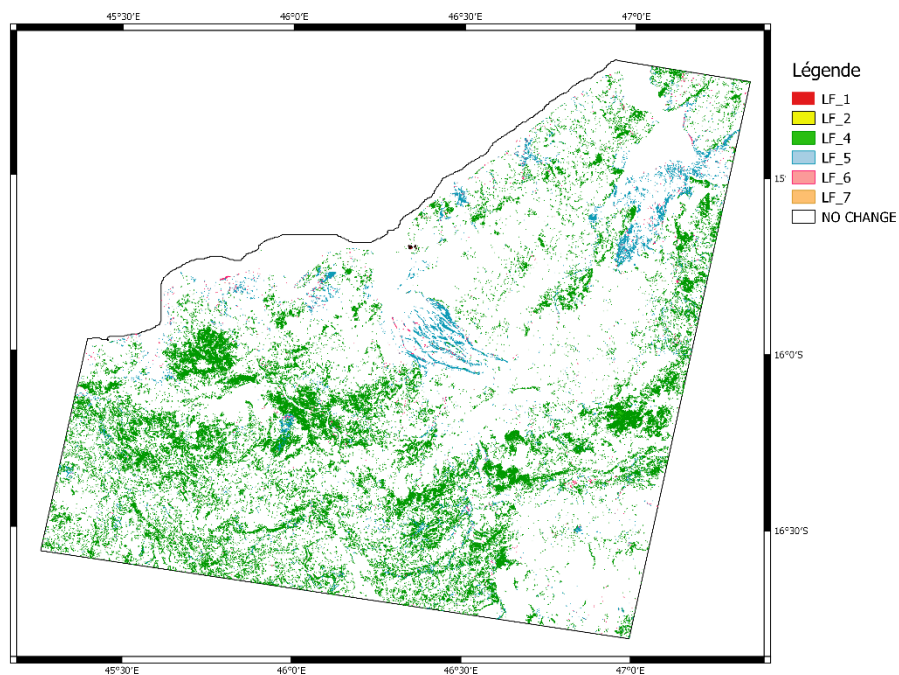


Figure16 : Cartographie des flux d'occupation de sol Boeny (2004-2014)

Matrice de classification des flux de couverture des terres (lf...)	Sorties →	zones urbaines et surfaces artificielles associées	Petits champs de cultures herbacées ou aquatiques	Raphiale	Mosaïques de petits champs agricoles et terres naturelles (cultures diverses)	Prairies naturelles (savane et savane arborée)	Forêt caducifoliée (dense sèche)	Forêt caducifoliée dégradée (dense sèche dégradée)	Mangrove intacte	Mangrove dégradée	Mangrove rabougrie	Tanne	Sols nus	Rivières et canaux	Lacs et réservoirs	Eaux côtières, estuaires	Total initial (2004) = lfo + sorties
	Entrées ↓	01	0222	0313	043	052	061	065	0641	0642	0643	0644	10	131	132	14	
zones urbaines et surfaces art	01	2205,18															2205,18
Petits champs de cultures herb	0222		44494,74														44494,74
Raphiale	0313			4724,73													4724,73
Mosaïques de petits champs a	043				9188,55												9188,55
Prairies naturelles (savane et	052	14,67	559,26		38,43	85788,27	75,6		109,62	1760,4			183948,39				272294,64
Forêt caducifoliée (dense sèche)	061		60,93	22,5			102321,6	32057,64	1023,48	2736,9			73591,83				211814,91
Forêt caducifoliée dégradée (l	065		65,97			2286,36	94,41	284087,1	140,04								286673,85
Mangrove intacte	0641			29,16		565,92	324,63	665,82	41605,8	1808,01			1926,72				46926,09
Mangrove dégradée	0642					9,36		214,56	73,53	67974,84							68272,29
Mangrove rabougrie	0643																0
Tanne	0644																0
Sols nus	10	14,85	452,88	19,53	165,06	427,41	323,37	168,93	144,63				1141229,4				1142946,09
Rivières et canaux	131																0
Lacs et réservoirs	132														383683,59		383683,59
Eaux côtières, estuaires	14																0
Total final (2014) = lfo + entrées		2234,7	45633,78	4795,92	9392,04	89077,32	103139,64	317194,02	43097,13	74280,15	0	0	1400696,37	0	383683,59		2473224,66

Tableau 17 : *Tableau résumé de la détection de changement Boeny (2004-2014)*

III.3.3 Comptes écosystémiques

III.3.3.1 Compte d'occupation des sols

Comptabilité du capital naturel écosystémique : Compte des stocks et des flux de couverture des terres												
												Unité : ha
Classification des unités de couverture des terres écosystémiques (UCTE)	01	0222	0313	043	052	061	065	0641	0642	10	132	TOTAL
	zones urbaines et surfaces artificielles associées	Petits champs de cultures herbacées ou aquatiques	Raphia	Mosaïques de petits champs agricoles et terres naturelles (cultures diverses)	Prairies naturelles (savane et savane arborée)	Forêt caducifoliée (dense sèche)	Forêt caducifoliée dégradée (dense sèche dégradée)	Mangroves intactes	Mangroves dégradées	Sols nus	Lacs	
<i>Stocks et flux d'occupation des terres</i>												
I. Stocks d'ouverture												
Stocks d'ouverture	2205,18	44494,74	4724,73	9188,55	272 295	211 815	286 674	46 926	68272,29	1 142 946	383683,59	2 473 225
II. Formation de couverture des terres												
F_if1 Développement artificiel	29,52											29,52
F_if2 Développement de l'agriculture		686,16	51,66	38,43								776,25
F_if3 Conversions et rotations internes												0
F_if4 Gestion et altération des espaces forestiers					2 862		32938,02					35799,66
F_if41 Gestion, coupe et replantation						419,04						419,04
F_if5 Restauration et création d'habitats						398,97		1273,14	1808,01			3480,12
F_if6 Changements dus à des causes naturelles et multiples							168,93	218,16	4497,3	259466,94		264351,33
F_if7 Autres changements des terres n.c.a. et réévaluation		452,88	19,53	165,06	427,41							1064,88
Total, formation de couverture des terres	29,52	1139,04	71,19	203,49	3289,05	818,01	33106,95	1491,3	6305,31	259466,94	0	305920,8
III. Consommation de couverture des terres												
C_if1 Développement artificiel					14,67					14,85		29,52
C_if2 Développement de l'agriculture					597,69	83,43	65,97	29,16				776,25
C_if3 Conversions et rotations internes												0
C_if4 Gestion et altération des espaces forestiers							2 286	1556,37	223,92			4066,65
C_if41 Gestion, coupe et replantation						32057,64	94					32152,05
C_if5 Restauration et création d'habitats					185,22	1023,48	140,04	1808,01		323,37		3480,12
C_if6 Changements dus à des causes naturelles et multiples					183948,39	73591,83			73,53	313,56		257927,31
C_if7 Autres changements des terres n.c.a. et réévaluation					1760,4	2736,9		1926,72		1064,88		7488,9
Total, consommation de couverture des terres	0	0	0	0	186506,37	109493,28	2586,78	5320,26	297,45	1716,66	0	305920,8
Changement net de couverture des terres	29,52	1139,04	71,19	203,49	-183217,32	-108675,27	30520,17	-3828,96	6007,86	257750,28	0	
Aucun changement	2205,18	44494,74	4724,73	9188,55	85788,27	102321,63	284087,07	41605,83	67974,84	1141229,4	383683,59	
IV. Stocks de clôture												
Stocks de fermeture	2234,7	45633,78	4795,92	9392,04	89 077	103 140	317 194	43 097	74280,15	1 400 696	383683,59	2 473 225

Tableau 18 : *Compte d'occupation de sol Boeny*

III.3.3.2 Compte des services fonctionnels de l'infrastructure écosystémiques

SELU/UPSE		zone côtière	zone urbaine	couvert forestier	prairie	grande agriculture	total	unité=ha
I. Bilans de base								
I.1 Comptes de base des occupations du sol								
01	zones urbaines et surfaces artificielles associées	18,18	1922,13	0,18	0	264,69	2205,18	
0222	Petits champs de cultures herbacées ou aquatiques	0	41,31	0,81	437,94	44014,68	44494,74	
0313	Raphiale	565,38	0,09	1327,86	2729,25	102,15	4724,73	
043	Mosaïques de petits champs agricoles et terres naturelles (cultures diverses)	0	0	35,19	2947,68	6205,68	9188,55	
052	Prairies naturelles (savane et savane arborée)	7930,53	216,27	28736,55	222314,13	13097,16	272294,64	
061	Forêt caducifoliée (dense sèche)	5520,87	69,39	100190,52	103296,69	2737,44	211814,91	
065	Forêt caducifoliée dégradée (dense sèche dégradée)	11004,75	91,71	75778,56	195121,98	4676,85	286673,85	
0641	Mangroves intactes	19363,5	1,53	6507,18	20037,51	1016,37	46926,09	
0642	Mangroves dégradées	37193,85	620,28	2546,1	22697,64	5214,42	68272,29	
0644	Tanne	0	0	0	0	0	0	
10	Sols nus	40608,45	62	95187,96	956292,13	50795,55	1142946,09	
132	Lacs	125933,94	873,9	30817,8	214090,11	11967,84	383683,59	
LC1	Stock d'ouverture de couverture des terres (2004)	248139,45	3898,61	341128,71	1739965,06	140092,83	2473224,66	
F_if1	Développement artificiel	1,98	27,54				29,52	
F_if2	Développement de l'agriculture					776,25	776,25	
F_if3	Conversions et rotations internes						0	
F_if4	Gestion et altération des espaces forestiers			35799,66			35799,66	
F_if41	Gestion, coupe et replantation			419,04			419,04	
F_if5	Restauration et création d'habitats			3480,12			3480,12	
F_if6	Changements dus à des causes naturelles et multiples			4884,39	259466,94		264351,33	
F_if7	Autres changements des terres n.c.a. et réévaluation				427,51	637,37	1064,88	
Formation de couverture des terres 2004								
C_if1	Développement artificiel				29,52		29,52	
C_if2	Développement de l'agriculture			178,56	597,69		776,25	
C_if3	Conversions et rotations internes						0	
C_if4	Gestion et altération des espaces forestiers			4066,65			4066,65	
C_if41	Gestion, coupe et replantation			32152,05			32152,05	
C_if5	Restauration et création d'habitats			3294,9	185,22		3480,12	
C_if6	Changements dus à des causes naturelles et multiples			73665,36	184261,95		257927,31	
C_if7	Autres changements des terres n.c.a. et réévaluation			2736,9	4752		7488,9	
Consommation de couverture des terres 2014								
01	zones urbaines et surfaces artificielles associées	20,25	1949,67	0,09	0	264,69	2234,7	
0222	Petits champs de cultures herbacées ou aquatiques	0	41,31	0,54	429,3	45162,63	45633,78	
0313	Raphiale	587,7	0,09	1342,08	2757,42	108,63	4795,92	
043	Mosaïques de petits champs agricoles et terres naturelles (cultures diverses)	0	0	32,22	3152,7	6207,12	9392,04	
052	Prairies naturelles (savane et savane arborée)	2368,08	150,03	18176,22	65821,95	2561,04	89077,32	
061	Forêt caducifoliée (dense sèche)	2188,8	6,93	65653,29	34407,09	883,53	103139,64	
065	Forêt caducifoliée dégradée (dense sèche dégradée)	9847,89	44,37	82655,82	221995,62	2650,32	317194,02	
0641	Mangroves intactes	18600,93	1,26	5622,84	17983,62	888,48	43097,13	
0642	Mangroves dégradées	40121,55	120,15	2886,12	25308,45	5843,88	74280,15	
0644	Tanne	0	0	0	0	0	0	
10	Sols nus	48735	686,96	133979,22	1153740,52	63554,67	1400696,37	
132	Lacs et réservoirs	125669,25	897,84	30780,27	214368,39	11967,84	383683,59	
Stock de clôture de couverture des terres 2014		248139,45	3898,61	341128,71	1739965,06	140092,83	2473224,66	
II. Potentiel de l'infrastructure écologique accessible								
LC1	Stock d'ouverture de l'occupation du sol en ha							
PEP01	Indice de fond du paysage vert (IFPV/GBLI) (moyenne par ha)	80,43	58,92	76,69	64,91	56,66		
LC2	Stock final de l'occupation du sol en ha							
PEP01	Indice de fond du paysage vert (IFPV/GBLI) (moyenne par ha)	79,57	54,16	71,9	62,25	54,82		

Tableau 19 : Compte des services fonctionnels de l'infrastructure écosystémiques Boeny

III.3.3.3 Comptes des carbones écosystémiques

Unité: tonnes													TOTAL
Classification des unités de couverture des terres écosystémiques (UCTE)													
	01	0222	0313	043	052	061	065	0641	0642	10	131	132	
	zones urbaines et surfaces artificielles associées	Petits champs de cultures herbacées ou aquatiques	Raphiaie	Mosaïques de petits champs agricoles et terres naturelles	Prairies naturelles (savane et savane arborée)	Forêt caducifoliée (dense sèche)	Forêt caducifoliée dégradée (dense sèche dégradée)	Mangrove intacte	Mangrove dégradée	Sols nus	Rivières et canaux	Lacs	
I. Bilan de base du carbone écosystémique													
C1.1	Biocarbone dans la biomasse aérienne vivante		150396,223		654869,5	49285118	46403923,92	4137653,3	3009920,449				103641881,4
C1.2	Biocarbone dans la litière et le bois mort												0
C1.3	Biocarbone dans les sols												0
C1.4	Autres réservoirs de biocarbone écosystémique												0
C1.5	Biocarbone dans le système de ressources et d'emploi économiques												0
C1	Stocks d'ouverture		150396		654869,5	49285118	46403924	4137653	3009920				103641881,4
C2.3	PPN (Production primaire nette)	4263,5	8945	12614,5	7987,5	9302,5	13274	11236	12767	11604	5310		97304
C2.4	Respiration secondaire des écosystèmes (hétérotrophe)	2558,1	5367	7568,7	4792,5	5581,5	7964,4	6741,6	7660,2	6962,4	3186		58382,4
C2.a	PEN (Production écosystémique nette) = C2.3 - C2.4	1705,4	3578	5045,8	3195	3721	5309,6	4494,4	5106,8	4641,6	2124	0	38921,6
C2.5	Augmentation nette des stocks de biocarbone secondaire												0
C2.6	Apports de biocarbone venant d'autres pays et de la mer												0
C2.7	Retours de production (résidus, fumier, rejets)												0
C2.8	Retours de consommation (boues, eaux usées, déchets solides)												0
C2.b	Sous-total de la ressource en biocarbone secondaire												0
C2	Total des apports nets de biocarbone (gains) = C2.a+C2.b	1705,4	3578	5045,8	3195	3721	5309,6	4494,4	5106,8	4641,6	2124	0	38921,6
C3.1	Récolte de produits agricoles												0
C3.2	Prélèvements de résidus agricoles et sous-produits (paille, etc.)												0
C3.3	Végétation broutée par le bétail												0
C3.4	Récolte de bois												0
C3.5	Prélèvements de résidus forestiers												0
C3.6	Autres prélèvements de végétation (produits forestiers non ligneux, algues, etc.)												0
C3.a	Récolte de produits agricoles, de bois et d'autres végétaux												0
C3.7	Prélèvements de biocarbone animal												0
C3.8	Autres prélèvements de biocarbone (y compris la tourbe)												0
C3.b	Prélèvements de biocarbone secondaire												0
C3	Prélèvement total de biocarbone = C3.a+C3.b												0
C4.1	Perte nette indirecte de biocarbone due à de l'utilisation des terres												0
C4.2	Rejets et pertes de biocarbone dans les masses d'eau												0
C4.3	Emissions de biocarbone écosystémique dans l'atmosphère												0
C4	Pertes nettes indirectes anthropiques de biocarbone et combustion de biocarburants												0
C5	Utilisation totale de carbone écosystémique [UTCE] = C3+C4												0
C6	Processus et perturbations naturels												0
C7	Total des sorties nettes de biocarbone (pertes)												0
C8.1	Accumulation Nette de Carbone Écosystémique 1 [ANCE1, flux] = Gains - Pertes = C2-C7	1705,4	3578	5045,8	3195	3721	5309,6	4494,4	5106,8	4641,6	2124	0	38921,6
C8.2	Ajustement et réévaluations												0
C8.3	ANCE 2 [Stocks] = Changements dans les stocks de biocarbone												0
C9.1	Biocarbone dans la biomasse vivante aérienne												0
C9.2	Biocarbone dans la litière et le bois mort												0
C9.3	Biocarbone dans le sol												0
C9.4	Autres réservoirs de biocarbone écosystémique												0
C9.5	Biocarbone dans le système d'approvisionnement et d'utilisation												0
C9	Stocks de clôture = C1+C8.1+C8.2 ou = C1+C8.3	1705,4	3578	155442	3195	658590,5	49290427,6	46408418	4142760	3014562	2124	0	103680803

Tableau 20 : Compte des carbones écosystémiques Boeny

III.4 Interprétation

La diminution de la savane (savane arborée et savane arbustive) est aussi remarquable (-183948 ha en dix ans). C'est dû au feu de brousse. On tient aussi à remarquer que dans la NAP Antrema il y a 756 ha de savane qui se transforment en forêt dégradée or que ce n'est pas visible dans les changements sur la région Boeny. Avec la NAP Antrema on a utilisé des images en saison humide (mai 2014) donc la limite entre savane arborée et forêt dégradée est un peu flou. Or qu'avec la région Boeny on a des images en saison sèche (septembre 2004 et octobre 2014), la différence entre les deux (savane et forêt dégradée) est très distincte. C'est sûr que ce changement entre savane et forêt dégradée existe mais il va falloir ajuster un peu plus la classification de la région Boeny pour le prouver. Certes, les deux indices Kappa (Carletta J., 1996) (celle de 2004 et 2014) pour la région Boeny sont supérieurs à 0,8 mais la classification n'est pas parfaite.

Dans le compte d'occupation des sols, une diminution considérable des zones forestières est à remarquer. Pour les mangroves il y a 3828 ha de pertes en dix ans et 108645 ha pour la forêt. Les pertes sont le résultat de plusieurs phénomènes, pour la forêt on a la dégradation (32057 ha) et la déforestation (73591 ha). Ces phénomènes sont tous des phénomènes anthropiques justifiés par l'augmentation de la zone artificielle et l'agriculture. Les changements se concentrent dans les UPSE couvert forestier et prairie. Les autres UPSE sont presque inchangées surtout pour la zone côtière. Donc on peut dire que la migration se concentre dans les endroits propices à la culture.

Pour le compte du carbone écosystémique, il n'y a pas beaucoup à dire si ce n'est que la région Boeny a un bon stock de carbone, car il manque encore beaucoup de données.

Discussions

Ce travail répond à plusieurs questions majeures : est-il possible d'établir les comptes écosystémiques au niveau régional et au niveau local malgré les contraintes de données et quelle solution permettrait d'y remédier? Les comptes écosystémiques se base en premier lieu sur des cartes d'occupation des sols donc le premier problème qu'on va rencontrer sera la disponibilité des images satellitaires. Dans notre cas on ne pouvait pas se procurer de l'image à haute résolution spatiale datée de 2004, alors on a réalisé une photo-interprétation d'image sur Google earth afin d'obtenir la cartes d'occupation du sol. La coopération entre plusieurs disciplines est primordiale car pour le compte du carbone écosystémiques par exemple on a besoin des taux de carbones procurés par des écologues.

Une autre question se porte sur la fiabilité de ces comptes. Les deux premiers (occupation des sols et services fonctionnels) dépendent de la qualité des classifications réaliser. C'est-à-dire que si notre classification est meilleure alors le compte réalisé sera fiable. Pour le compte du bio carbone écosystémiques, elle dépendra de l'estimation établie par des écologues. D'après les matrices de confusion on a une bonne classification, malgré l'inexistence des données de terrains pour l'année 2004, car les indices de KAPPA (Carletta J., 1996) sont élevés (supérieur à 0.8). Alors les deux méthodes de classification orientée objet et RNA sont tous deux fiables même si on encore l'améliorer. Pour la méthode de détection de changement on a utilisé le post classification (pour Antrema) et l'**iMAD** (Nielsen A. et *al.*, 2005) (pour Boeny). La transformation iMAD est invariante par des transformations linéaires appliquées aux images d'origine. Ceci signifie aussi qu'elle est indifférente au changement de gain et offset des appareils de mesure. C'est pourquoi il est considéré comme une méthode très robuste pour détecter les changements.

Conclusion

La comptabilisation des écosystèmes est un moyen de rassembler les meilleures connaissances disponibles et de les présenter sous une forme susceptible d'aider les décideurs. Elle est aussi un moyen de rassembler et de résumer de façon logique et transparente des informations souvent dispersées. Une telle approche produit des informations précieuses aux décideurs tout en fournissant un cadre de référence pour un système futur dans lequel les valeurs des écosystèmes et de la biodiversité seront incorporées dans les comptes.

La NAP Antrema, comparé à la Région Boeny, est assez conservée car la déforestation en dix ans représente 4,3% de la NAP tandis que pour Boeny on a 4,5% de la surface totale. L'amélioration des résultats est encore possible par un peu plus d'ajustement sur les classifications effectuer. La dégradation des mangroves est aussi à remarquer. Dans la Région Boeny il y a eu dégradation d'environ 4000 ha soit à peu près 10% de la surface totale de mangroves. Pour la savane, dans la région Boeny on a pris en considération seulement la savane arborée. Donc l'énorme déclin qu'on a vu montre le déclin de la savane arborée (savane à *Bismarkia nobilis*). Dans le cas d'Antrema, on a combiné dans une seule classe la savane herbeuse et la savane arborée c'est pour cela qu'on a vu une augmentation. Les deux comptes du carbone écosystémique montrent que la Région Boeny est un potentiel ressource de carbone.

L'adaptation de la SCEE-EEA au niveau local et régional est réalisable, mais cependant au niveau des données, on doit faciliter l'accès pour les obtenir, surtout au niveau régional. Au niveau local, comme pour une aire protégée les données sont plus disponibles. Néanmoins, la SCEE-EEA est une nouvelle méthode donc il y a encore des données à fournir biais des études supplémentaires comme par exemple le prélèvement du bio carbone animal, la perte nette indirecte de bio carbone due à l'utilisation des terres ... Ces données manquantes se trouvent principalement dans le compte du bio carbone écosystémique. Il est vrai que pour le compte des services fonctionnels de l'infrastructure des écosystèmes on a réalisé seulement la première partie (bilan de base de l'occupation de sol), mais on doit suivre des formations supplémentaires pour compléter le reste du tableau.

Bibliographie

- Besairie, H. 1972 : «Les territoires sédimentaires. Annales écologiques de Madagascar.» *Fascicule XXXV. Tananarive*. 463p.
- Beucher, S. 1990 : « Segmentation d'images et morphologie mathématique », *Thèse de doctorat, École Nationale Supérieure des Mines de Paris*.
- Carletta, J., Jun 1996 : “Assessing Agreement on Classification Tasks: The Kappa Statistic” *Comput Linguist*, vol. 22, no. 2, pp. 249–254,
- CIRAD, Février 2013: « Les services écosystémiques : Des instruments économiques et politiques uniques »
- Cornet, A. 1974 : « Essai de cartographie bioclimatique à Madagascar ». *Notice explicative N° 55. Edition Paris, ORSTOM*, 28p.
- Di Gregorio, A., Jaffrain, G. et Weber, J.-L., 5–7 décembre 2011 : « Land cover classification for ecosystem accounting », , Londres (Royaume-Uni).
- Donque, G. (1975) : « Contribution géographique à l'étude du climat de Madagascar. » *Annales de géographie*, vol. 87, 478p
- Gao, B., 1995: "Normalized Digital Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from space." *Proceedings of SPIE 2480*, 225-236
- Gauthier, C. A. ; Roger, E. ; Huguet, S., 2000 : “Schéma d'aménagement et de gestion de la Station Forestière d'Antrema », 60p
- Gauthier, C. A. ; Rakotondravony, D. ; Razafindramanana., 1999 : « Découverte d'un nouvel habitat occupé par les Propitèques (*Propithecus verreauxi coronatus*) au Nord-Ouest de Madagascar. » *Primatologie*, 6p.
- Humbert, H., 1955 : « Les territoires Phytogéographiques de Madagascar ». *Année Biologique*. Ser. 3, 31 : 439-448.
- Agenda 21, 4.11., UNSD, 1992
- Mallat, S.G. (1989): “A theory for multi-résolution signal decomposition: the wavelet representation”, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 11, no. 7, pp. 674–693.
- Marpu, P., Gamba, J., Benediktsson, A., 2011: “Hyperspectral change detection with IR-MAD and initial change mask, *3rd Workshop on Hyperspectral Image and Signal Processing: Evolution in Remote Sensing (WHISPERS)*”, pp. 1–4.
- Meinesz A.; Belsher T.; Boudouresque C.-F.; Lefevre J.-R. Jan. 1991: « Première évaluation des potentialités du satellite Spot pour la cartographie des peuplements

benthiques superficiels de la Méditerranée occidentale », *Oceanol. Acta*, vol. 14, no. 3, pp. 299–307.

- Meyer, Y (1992): « Les ondelettes: algorithmes et applications. » Armand Colin
- NASA. Retrieved 12 February 2013 “LDCM Press Kit “(PDF). Retrieved
- NASA. Retrieved 12 February 2013 “LANDSAT Data Continuity Mission Brochure” (PDF).
- Nielsen, A. ; Conradsen, K., 1998: “Multivariate alteration detection(MAD) in multispectral, bitemporal image data: a new approach to change detection studies”, *Technical University of Denmark, technical report 11*,
- Nielsen, A.; Canty, M J. 2005: “Multi- and hyperspectral remote sensing change detection with generalized difference images by the IR-MAD method, Analysis of Multi-Temporal Remote Sensing Images”, *International Workshop*, pp. 169–173.
- Potter, C.; Klooster S.; Genovese V.; 2012: “Net Primary Production of Terrestrial Ecosystems from 2000 to 2009”.
- Potter C., Gross P., Genovese V. et Smith M.L. 2007: “ Net primary productivity of forest stands in New Hampshire estimated from Landsat and MODIS satellite data”
- Razafindramanana, S. 1999: « Etude de faisabilité. » *Rapport.Réf PZP/PBA/CAG/009*,
- Rioul, O.; Vetterli, M. 1991: “Wavelets and signal processing, IEEE Signal Process.” *Mag.*, vol. 8, no. 4, pp. 14–38.
- Roger, E.; Gauthier, C. A. ; Razafindramanana, S. ; Vavindraza. 2006 :« Plan d’aménagement et de gestion de la Station Forestière à Usage Multiple d’Antrema. » *Rapport d’activité*. 22p.
- Roger, E. ; Gauthier, C. A. ; Razafindramanana, S. ; Vavindraza. 2004: « Evaluation des dégâts cycloniques dans la Station Forestière d’Antrema. », 42p
- Roger, E. ; Gauthier, C. A. ; Rakotondravony, D. ; Razafindramanana, S. ; 2000 : « Diagnostic physico-éco-biologique de la Station forestière à usages multiples d’Antrema. DRAFT. » *Parc Zoologique de Paris / Faculté de Sciences Antananarivo/ MEF.*, 500 p.
- Rouse, J. Haas R., Schell, J. and Deering, D.; 1973: “Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium”, , pp : 309-317
- Tschirhart J. and Crocker T., 1987: “Economic valuation of Ecosystems” *American fisheries society* 116: 469-478,
- Weber J.L. 2014 : « comptes écosystémiques du capital naturel : une trousse de démarrage rapide » *CDB Technical Serie No.77 Secrétariat de la convention sur la diversité biologique*.
- Wiemker, R. ; Speck, A. ; Kulbach, D. ; Spitzer, H. ; Bienlein, J.; 1997: “Unsupervised Robust Change Detection on Multispectral Imagery Using Spectral and Spatial Features,”

in Proceedings of the Third International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition, , pp. 640–647

Webographie

- <http://www.cirad.fr> consulté le 14 septembre 2015
- <https://unstats.un.org/unsd/envaccounting/seeaLES/egm/lod.htm> consulté le 01 septembre 2015
- Données PPN téléchargeable sur <http://www.ntsug.umt.edu/project/mod17#data-product> consulté le 03 Juin 2015
- <https://www.un.org/french/events/rio92/agenda21/action4.htm> consulté le 15 octobre 2015
- <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10584-012-0460-2> consulté le 15 octobre 2015
- <http://link.springer.com/article/10.1186/1750-0680-2-9> consulté le 15 octobre 2015

Annexes

1. Corine land Cover

1 Territoires artificialisés

11 Zones urbanisées

111 Tissu urbain continu

112 Tissu urbain discontinu

12 Zones industrielles ou commerciales et réseaux de communication

121 Zones industrielles et commerciales

122 Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés

123 Zones portuaires

124 Aéroports

13 Mines, décharges et chantiers

131 Extraction de matériaux

132 Décharges

133 Chantiers

14 Espaces verts artificialisés, non agricoles

141 Espaces verts urbains

142 Équipements sportifs et de loisirs

2 Territoires agricoles

21 Terres arables

211 Terres arables hors périmètres d'irrigation

212 Périmètres irrigués en permanence

213 Rizières

22 Cultures permanentes

221 Vignobles

222 Vergers et petits fruits

223 Oliveraies

23 Prairies

231 Prairies

24 Zones agricoles hétérogènes

241 Cultures annuelles associées aux cultures permanentes

242 Systèmes culturaux et parcellaires complexes

243 Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants

244 Territoires agro-forestiers

3 Forêts et milieux semi naturels

31 Forêts

311 Forêts de feuillus

312 Forêts de conifères

313 Forêts mélangées

32 Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée

321 Pelouses et pâturages naturels

322 Landes et broussailles

323 Végétation sclérophylle

324 Forêt et végétation arbustive en mutation

33 Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation

331 Plages, dunes et sable

332 Roches nues

333 Végétation clairsemée

334 Zones incendiées

335 Glaciers et neiges éternelles

4 Zones humides

41 Zones humides intérieures

411 Marais intérieurs

412 Tourbières

42 Zones humides maritimes

421 Marais maritimes

422 Marais salants

423 Zones intertidales

5 Surfaces en eau

51 Eaux continentales

511 Cours d'eau et voies d'eau

512 Plans d'eau

52 Eaux maritimes

521 Lagunes littorales

522 Estuaire

523 Mers et océans

Développement de la nomenclature des flux de couverture des terres

If1	Artificialisation
If11	Développement artificialisation sur des terres agricoles
If12	Développement artificiel sur des forêts
If13	Développement artificiel d'une autre occupation de terres naturelles
If14	Création de masses d'eau
If19	Autres ...
If2	Extension de l'agriculture
If21	Conversion de petites surfaces agricoles en agriculture à grande échelle
If22	Conversion des prairies en agriculture
If23	Conversion de forêts en agriculture
If24	Conversion de terres marginales en agriculture
If29	Autres ...
If3	Conversions internes et rotations
If31	Conversion interne de surfaces artificielles
If32	Conversion interne entre types de culture agricole
If33	Conversion interne entre types de forêts
If34	Conversion interne de terres naturelles
If39	Autres ...
If4	Gestion et altération des espaces forestiers
If41	Gestion, coupe et replantation
If42	Incendies, épidémies et autres
If49	Autres ...
If5	Restauration et création d'habitats
If51	Conversion de cultures en jachères et pâturages
If52	Retrait de l'exploitation agricole, restauration du paysage
If53	Création de forêts, boisement de terres agricoles
If54	Création de forêts, boisement de terres marginales
If55	Régénération des forêts dues au recrutement d'arbres
If56	Restauration des terres dégradées
If59	Autres ...
If6	Changements dus à des causes naturelles et multiples
If61	Changements liés aux processus climatiques
If62	Impacts des catastrophes climatiques et autres catastrophes naturelles
If69	Transitions naturelles non classées ailleurs
If7	Autres changements des terres n.c.a. et réévaluation
If0	Aucun changement observé de la couverture des terres

Résumé : « Apport de la télédétection et du SIG dans l'établissement de la comptabilité des écosystèmes d'une aire protégée »

La nouvelle aire protégée d'Antrema a vu le jour quelque temps après la ratification de Madagascar en 1995 de la convention sur la diversité biologique. L'assemblée générale des Nations Unies a suggéré que d'ici 2020, les valeurs de la diversité biologique soient intégrées dans les stratégies de planification de développement et de réduction de la pauvreté. Nous avons établi différents comptes biophysiques de l'aire protégée d'Antrema. L'objectif est de proposer des outils de gestion locale de l'aire protégée. Pour cela, nous avons dû adapter les méthodes proposées par l'ENCA-QSP pour utilisation au niveau national. Ces comptes nécessitent l'utilisation des imageries satellitaires, des méthodes de détection de changement de l'occupation des sols. Nous avons choisi les images datées de 2004 et de 2014. Les comptes que nous avons dressés sont le compte d'occupation des sols, le compte carbone et le compte des services fonctionnels de l'infrastructure de l'écosystème. Des valeurs économiques peuvent ensuite être données à l'écosystème à partir de tous ces comptes. On a aussi essayé d'extrapoler les méthodes entrepris sur toutes la région de Boeny.

Mot clé : *aire protégée, comptabilité des écosystèmes, détection de changement, occupation des sols, carbone, infrastructure de l'écosystème, Antrema, Boeny, Madagascar.*

Abstract : *"The contribution of remote sensing and GIS in the establishment of accounting ecosystems of a protected area"*

The new protected area Antrema emerged sometime after ratification of Madagascar in 1995 of the Convention on Biological Diversity. The General Assembly of the United Nations suggested that by 2020, the values of biodiversity are integrated into development planning strategies and poverty reduction. We have established different biophysical accounts of the protected area Antrema. The aim is to provide local management tools of the protected area. For this, we had to adapt the methods proposed by ENCA-QSP for national use. These accounts require the use of satellite imagery, methods of change detection of land cover. We chose the images dated 2004 and 2014. The accounts that we have prepared are the land cover account, the carbon account and the ecosystem infrastructure functional services account. Economic values can be given to the ecosystem from all these accounts. We also tried to extrapolate the methods undertaken on all the region of Boeny

Keywords: *protected area, ecosystem accounting, change detection, land cover, carbon, ecosystem infrastructure, Antrema, Boeny, Madagascar.*

Rapporteur:

RAKOTONDRAOMPIANA Solofo

Impétrant:

RAMIHANGIHAJASON Tony Arison

tonyarison@hotmail.fr

(+261)33 21 656 06