

NATURAL RESOURCE MANAGEMENT – NATURAL WEALTH ACCOUNTING*

PROPOSITIONS DE MÉTHODOLOGIE POUR LA RÉALISATION D’UN INVENTAIRE NATIONAL DES RICHESSES NATURELLES: ETABLISSEMENT DE LA COMPTABILITE ECOSYSTEMIQUE DE LA REGION DE BOENY

Faramalala, M.** , Manjarisoa, J.C.***, Rakotondraompiana, S. A.***, Rakotoniaina, S.***, Rakotozanany, A.R.** , Rambeloarisoa, L.F.** , Ramihangihajason, T.***, et Roger, E.**

Mots clés : capital naturel, comptabilité écosystémique, ENCA, comptes biophysiques, cartographie, détection de changement

*“Natural Resource Management – Natural Wealth Accounting” is a capacity building program launched by the Global Development Network (GDN) in 2014 to help three ecologically fragile countries—Madagascar, Mauritius and Morocco—to understand the interactions between natural resources and socio-economic activities. The program is supported by the French Ministry of Foreign Affairs and International Development and the French Agency for Development (AFD).

**Département de Biologie et Ecologie Végétales (DBEV), Université d’Antananarivo

***Institut et Observatoire de Géophysique d’Antananarivo (IOGA), Université d’Antananarivo

Résumé

Dans le contexte actuel de recherche de développement durable, il est nécessaire de pouvoir mesurer les interactions entre les activités socio-économiques et l'environnement et de rendre compte de ces informations au travers d'indicateurs pertinents. Les données d'observation spatiale terrestres offrent des opportunités pour produire de telles informations. Nous explorons les possibilités offertes par ces données afin de permettre l'inventaire et le suivi des richesses naturelles locales pour une région administrative de Madagascar, la région de Boeny. Nous établissons des comptes biophysiques suivant la méthodologie de comptabilité écosystémique du capital naturel, le « Ecosystem Natural Capital Accounts (ENCA) » (Weber, 2014). Pour cela nous utilisons une cartographie de la zone d'étude et observons les changements entre deux dates et complétons ces informations avec une collecte de données sur le terrain. Ce projet permet de montrer la faisabilité de la méthode ENCA pour un échelon régional. Par ailleurs, la méthodologie ENCA propose traditionnellement de faire tous les calculs dans une grille de référence alors que nous proposons ici une autre manière de faire ces calculs.

La recherche discutée dans la présente publication a été financée par le Global Development Network (GDN). Les opinions exprimées dans cet article ne sont pas nécessairement celles du GDN.

I- Présentation générale de l'étude

La comptabilité de l'écosystème (systèmes socio-écologiques) est une approche cohérente et intégrée pour l'évaluation de l'environnement grâce à la mesure des écosystèmes et des flux de services qu'ils fournissent aux activités économiques et autres activités humaines. La comptabilité du capital naturel se divise en général entre comptes biophysiques et comptes monétaires. Les comptes biophysiques font l'inventaire physique des différentes composantes de l'environnement ainsi que des changements en stock du capital naturel. Les comptes monétaires transcrivent la comptabilité du capital naturel en termes monétaires, estimant la valeur économique de chaque composante.

Lors d'un précédent programme, nous avons établi les comptes biophysiques pour une zone plus restreinte, une aire protégée (Antrema) près de la ville de Mahajanga sur la côte nord-ouest de Madagascar à la suite duquel nous avons obtenu des résultats intéressants pour la gestion de l'aire protégée (Rakotondraompiana, 2015). La présente étude consistera à établir les comptes biophysiques sur une zone plus large, la région administrative de Boeny. L'idée est de montrer comment les résultats obtenus précédemment vont évoluer avec ce nouveau programme.

II- Objectif et résultats attendus

L'objectif premier de ce travail est la réalisation d'une comptabilité des richesses naturelles pour une gestion régionale de l'environnement. L'objectif second est de présenter aux autorités administratives locales la méthode de comptabilité écosystémique, ses premiers résultats sur Antrema, ainsi que les résultats (partiels) à l'échelle de la région.

III- Méthodologie

La méthodologie ENCA (Weber, 2014) que nous avons adoptée est résumée sur la figure 1. La première étape consiste à recueillir les données disponibles (données statistiques, images satellites, autres données spatialisées...) pour la zone d'étude, puis à les retraiter selon une nomenclature prédéfinie. A l'issue du traitement de données, en particulier des images satellites, des cartes d'occupation des terres sont produites à deux dates différentes, ainsi qu'une carte des flux d'occupation des sols. Nous terminerons ensuite le processus par l'établissement des comptes biophysiques selon la méthodologie ENCA. Ces comptes comprennent : le compte d'occupation des terres, le compte de l'eau de l'écosystème, le compte carbone, et le compte des services fonctionnels de l'infrastructure écosystémique.

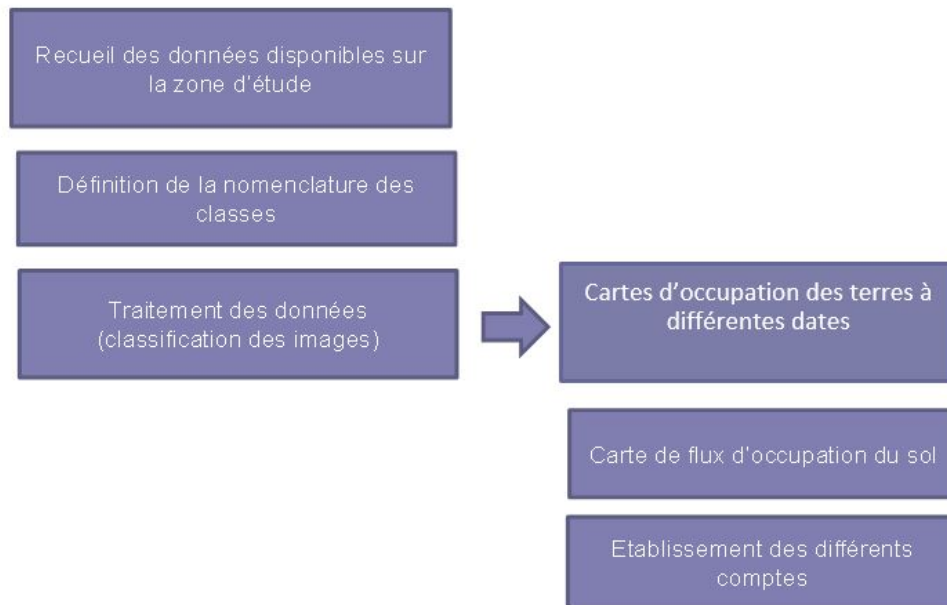


Figure 1 : Différentes étapes suivies pour l'établissement des comptes

III.1. Comptes d'occupation des terres

Le compte de l'occupation des terres commence par une mesure de l'état de l'environnement à l'instant initial, le stock d'ouverture, que nous appelons date 1, « d1 ». Ensuite, une autre partie comptabilise les consommations c'est-à-dire la disparition d'entités en faveur d'autres utilisations des sols sur la période, tandis qu'une autre partie met en évidence les gains en superficies au dépens d'autres entités. Une dernière action mesure le stock de fermeture, autrement dit les superficies à la date 2, « d2 ».

Pour établir le compte d'occupation des terres, nous avons besoin de cartes d'occupation du sol à deux dates différentes, obtenues à partir d'images spatiales. Pour classer des images nous avons opté pour une approche supervisée avec l'algorithme Séparateur à Vaste Marge (SVM) (Vapnik, 1998). Cette classification supervisée nécessite des informations *a priori* sur la zone d'étude obtenues à partir des travaux de terrain. Nous déduisons des cartes d'occupation du sol produites précédemment les changements observés entre les deux dates qui nous permettent de définir par la suite les flux de changement. La détection des changements sera faite en utilisant la méthode Post-classification (Serra *et al.*, 2003) tandis que les flux de changement seront classés selon la nomenclature proposée par l'ENCA (Weber, 2014).

III.2. Comptes de l'eau écosystémique

L'un des objectifs du compte de l'eau de l'écosystème d'ENCA est de mesurer la dégradation des écosystèmes que pourrait provoquer l'épuisement et la pollution des ressources en eau. En comparant les ressources d'eau disponibles avec leur niveau d'utilisation, nous obtenons un indicateur de durabilité qui reflète l'impact de l'intensité d'utilisation en eau. Ce compte sera établi à la fois à partir des données recueillies auprès d'administrations diverses (Centre

météorologique, Compagnie d'eau et d'électricité ,...) qu'à travers des résultats d'enquêtes. Les comptes sont établis pour l'année.

III.3. Comptes des services fonctionnels de l'infrastructure écosystémique

La comptabilité de l'infrastructure écologique et des services fonctionnels connexes mesure la capacité durable des écosystèmes à produire des services, les services écosystémiques qui ne sont pas directement mesurables en tant que ressources matérielles. L'infrastructure écosystémique est décrite à l'aide des unités statistiques ainsi que des données d'enquête terrain. Les unités statistiques utilisées sont les unités comptables écosystémiques (UCE) et les unités fonctionnelles de couverture des terres écosystémiques (UCTE) qui sont des objets géographiques et biophysiques pouvant être cartographiés (Weber, 2014). Les unités paysagères socio-économiques (UPSE) sont établies en superposant les limites des sous-bassins versant avec les types de couverture des terres dominants (TCDT). Ces derniers sont obtenus en comptant le nombre des pixels dominant c'est-à-dire que nous subdivisons l'image à cartographier en plusieurs tuiles composées d'un certain nombre de pixels. Nous remplaçons ensuite tous les pixels de la tuile par le type de pixel qui domine en nombre. Ce compte est décrit également par l'indice du fond de paysage vert qui est évalué à l'aide de quatre critères : degré d'artificialisation, degré de biodiversité, fonction écologique, et santé/état. Cet indice est calculé à partir des notes attribuées à chaque critère cité précédemment. Les notes qui ont été données par des spécialistes de l'écologie varient de 1 (très faible) à 5 (très élevé). La comptabilité des services fonctionnels de l'infrastructure écosystémique est souvent calculée selon des zones appelées unités paysagères socio-économiques (UPSE) (ex : zones côtières, zone boisée, zone de savane,...) (Weber, 2014).

III.4. Comptes carbone

Les ressources ou « stock » de carbone proviennent essentiellement des écosystèmes (végétation aérienne et souterraine, êtres vivants, sols,...). Une dynamique du carbone s'exerce par l'absorption par l'atmosphère et les océans, par la transformation de la biomasse (biocarbone) par les cultures ou les abattages d'arbres, par destruction via érosion et par l'évolution de l'environnement naturel lui-même. La comptabilité du carbone est décrite entre autres à l'aide de la production primaire nette (PPN) qui est fournie par une carte de 1 km de résolution spatiale issue d'image MODIS. Cette résolution spatiale étant trop large pour notre exercice, nous avons calculé une PPN plus fine en utilisant l'indice normalisé de végétation NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) avec lequel nous définissons une relation de corrélation avec la PPN (Potter *et al.*, 2007). Une autre grandeur appelée respiration hétérotrophique (RH) sera ensuite calculée à partir de la production primaire nette suivant la relation empirique $RH = 0.6 \times PPN$ (voir 5.45 à 5.48 *ENCA trousse de démarrage rapide* Weber, 2014)

IV- Présentation de la zone d'étude

Comme nous montre la figure 2, la région de Boeny est localisée dans le nord-ouest de Madagascar. Elle s'étend sur une superficie de 32 386 km² et comporte une longue façade maritime (environ 686 km) bordée par le Canal du Mozambique. Le Chef-lieu administratif de la région est la ville de Mahajanga. Elle compte 43 communes réparties entre 6 districts : Mahajanga I, Mahajanga II, Mitsinjo, Soalala, Marovoay et Ambato-Boeny.

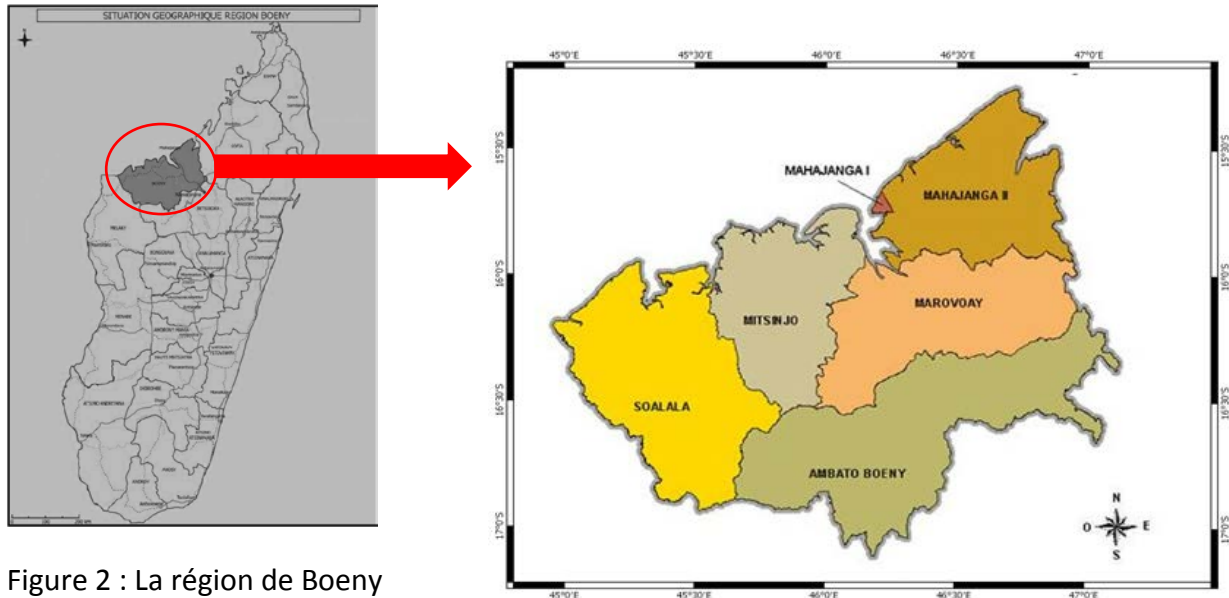


Figure 2 : La région de Boeny

Les écosystèmes naturels occupaient 86% de la superficie du territoire en 2010, dont 28% de formations boisées (forêts et mangroves), et 56% de formations herbeuses (savanes et pseudo-steppes), les parties restantes étant formées par des plans d'eau et zones marécageuses. Les zones agricoles consacrées aux cultures vivrières, industrielles ou de rente ne couvraient qu'environ 7% du territoire (ONE *et al.*, 2013).

V- Données utilisées

Compte-tenu des dimensions de la zone à étudier assez grande, nous avons opté pour des images satellitaires Landsat avec des pixels représentant 30 mètres au sol. Les données utilisées pour l'établissement des comptes biophysiques de la région de Boeny sont des images de 2010 et 2015. Ces images ont été téléchargées depuis le site de la NASA. Nous avons donc deux séries d'images : Landsat TM (Landsat 5) d'avril 2010, et Landsat ETM+ (Landsat 7) d'avril 2015. Des vérifications sur le terrain ont également été nécessaires afin de mieux orienter les opérations de classification des images. Des données MODIS sur l'évapo-transpiration et la Production Primaire Nette (NPP) ont été aussi utilisées. Les autres données proviennent d'informations administratives et d'enquêtes effectuées lors de déplacements terrain, notamment concernant l'utilisation de l'eau et du bois.

VI- Observations sur le terrain

Des missions ont été effectuées sur le terrain du 2 mai au 14 mai 2016. Les enquêtes ont permis de recueillir auprès des administrations publiques des données sur l'utilisation du bois (carbone), l'utilisation de l'eau par les ménages, l'utilisation industrielle de l'eau, essentiellement par l'industrie agro-alimentaire, et enfin de réaliser des enquêtes « vérité terrain » pour améliorer les résultats obtenus lors de la classification préliminaire des images satellites. Les travaux de terrain ont été effectués dans les communes de Mitsinjo, Mahajanga I, et Ambato-Boeny où nous avons noté des problèmes de confusion dans les classes d'occupation des sols. C'est aussi sur ces communes que toutes les industries, les bureaux administratifs et les différents types d'occupation se trouvaient concentrés. Ainsi, nous avons pu améliorer la classification des images sans avoir à visiter toute la région de Boeny.

VII- Etablissement des comptes biophysiques

L'établissement des comptes biophysiques repose sur l'utilisation d'images satellites, sur l'exploitation des données d'enquêtes terrain, et sur des données recueillies auprès des différents départements (génie rural, service 'Suivi et évaluation', service vétérinaire régional, cantonnement de l'écologie de la mer et des forêts, service eau et électricité (Jirama)). En ce qui concerne les images, nous avons choisi d'établir les comptes entre les années 2010 et 2015. Les capteurs ETM et TM des satellites Landsat ayant des caractéristiques identiques entre eux, les images sont donc comparables. Toutes les images ont été corrigées des effets atmosphériques et projetées dans le même système cartographique (UTM).

VII.1. Comptes de l'occupation des sols

Cette comptabilité se base sur la cartographie de l'occupation des sols et des changements qui y sont observés. La nomenclature utilisée pour la cartographie est basée sur les quatorze classes proposées par la méthodologie ENCA (Weber, 2014). Mais nous y avons ajouté des sous-classes en fonction des occupations des sols rencontrées dans notre zone d'étude.

L'agriculture occupe une place importante dans la région de Boeny, avec plusieurs types d'activités agricoles : la riziculture, la culture industrielle de canne à sucre, les cultures diverses (mosaïques de cultures) telles que la culture du maïs et du manioc. Ces dernières sont plutôt des cultures de subsistance et occupent une superficie très faible.

Voici la nomenclature et la numérotation des classes utilisées :

- 01 : Ville ;
- 0222 : Riziculture ;
- 0313 : Raphia (plantation);
- 043 : Mosaïque de cultures ;
- 052 : Savane et prairie naturelle ;
- 061 : Couverture forestière de 70 à 100%;
- 062 : Couverture forestière de 40 à 70% ;
- 063 : Couverture forestière de 10 à 40% ;
- 0641 : Mangroves intactes;

- 0642 : Mangroves dégradées ;
- 10 : Sol nu et sable ;
- 13 : Plan d'eau interne

Les cartes d'occupation des sols pour deux années choisies (Figure 3 et Figure 4) sont montrées ci-après :

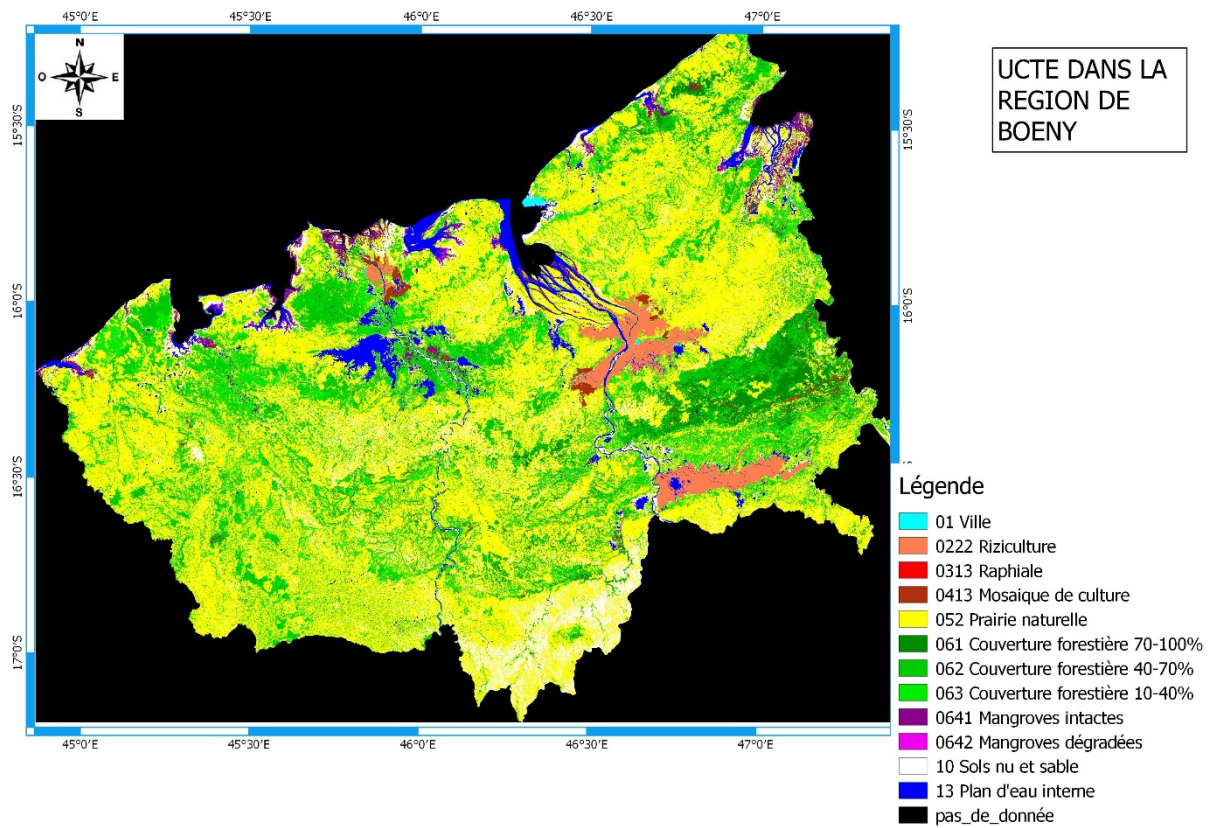


Figure 3: Carte d'occupation des sols, Région de Boeny, 2010

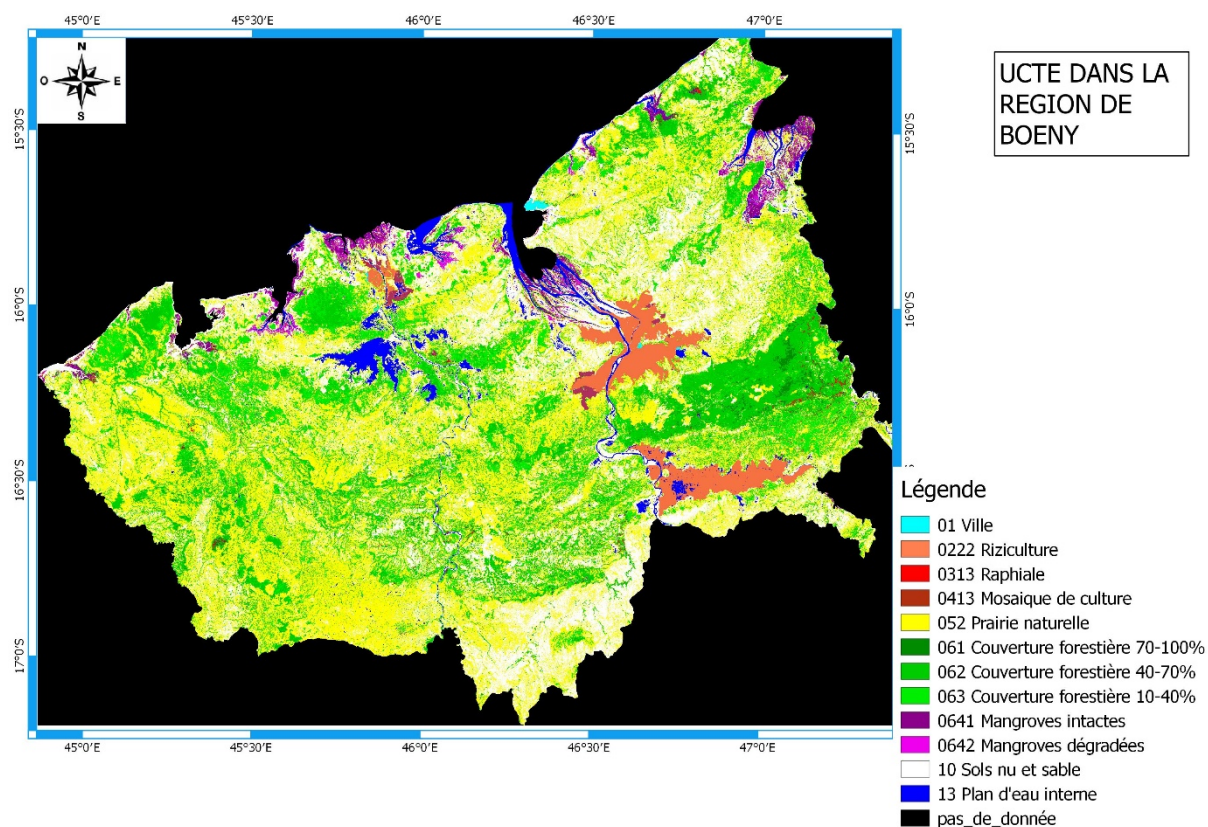


Figure 4: Carte d'occupation des sols, Région de Boeny, 2015.

Les flux des couverture des terres sont normalisés suivant les classes de flux ENCA montrées dans le tableau 1 ci-dessous :

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 1: flux des couvertures des terres

Le tableau 2 montre les différents changements intervenus au niveau régional entre 2010 et 2015 tandis que le tableau 3 montre les comptes de couverture des terres établis à partir des cartes d'occupation des sols précédentes.

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)	Couverture forestière 70-100%	Couverture forestière 40-70%	Couverture forestière 10-40%	Mangrove intacte	Mangrove dégradée	Sols nus	Plan d'eau interne	Total initial (2010) = lf0 + sorties
	Entrées ↓	01	0222	0313	043	052	061	062	063	0641	0642	10	13	
zones urbaines et surfaces artificielles associées	01	22,46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22,46
Petits champs de cultures herbacées ou aquatiques	0222	0	719,88	0,14	0	4,85	0	0	1,14	0,03	0,06	6,48	7,9	740,48
Raphiale	0313	0	0,19	137,75	0	2,01	0,82	9,28	13,99	4,27	0,77	0,72	0,34	170,14
Mosaïques de petits champs agricoles et terres naturelles (d	043	0	10,85	0	80,51	0	0	0	0	0	0	0	0	91,36
Prairies naturelles (savane et savane arborée)	052	0	87,25	0	1,78	9318,1	9,03	240,29	1472,72	50,72	130,41	5013,7	32,99	16356,99
couverture forestière 70-100%	061	0	0,02	0	0	19,5	98,76	614,49	71,08	9,36	0,3	2,4	0,04	815,95
Couverture forestière 40-70%	062	0	1,85	0	0	319,58	22,66	1679,68	1410,65	26,99	10,38	40,07	0,56	3512,42
Couverture forestière 10-40%	063	0	45,67	0	0,06	1906,33	1,83	208,99	2259,3	6,75	6,51	293,9	6,96	4736,3
Mangrove intacte	0641	0	1,13	0	0	34,3	0,79	17,64	59,27	165,58	51,67	23,1	3,68	357,16
Mangrove dégradée	0642	0	0,33	0	0	8,84	0,02	0,42	2,06	20,72	41,71	10,6	3,81	88,51
Sols nus	10	0	19,44	0	0,18	496,28	0,93	7,56	32,18	3,15	16,62	1553,18	45,87	2175,39
Plan d'eau interne	13	0	30,38	0	0	81,04	0,75	5,26	18,82	16,85	33,75	338,81	706,79	1232,45
Total final (2015) = lf0 + entrées		22,46	916,99	137,89	82,53	12190,83	135,59	2783,61	5341,21	304,42	292,18	7282,96	808,94	30299,61

Tableau 2 : Changements observés entre 2010 et 2015 dans la région de Boeny (unité km²)

												Unité : km²	
Classification des unités de couverture des terres écosystémiques (UCTE)	01	0222	0313	043	052	061	062	063	0641	0642	10	13	
	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)	Couverture forestière 70-100%	Couverture forestière 40-70%	Couverture forestière 10-40%	Mangroves intactes	Mangroves dégradées	Sols nus et sable	Plan d'eau interne	TOTAL
Stocks et flux d'occupation des terres													
I. Stocks d'ouverture													
Stocks d'ouverture	22,46	740,48	170,14	91,36	16 357	815,95	3 512	4 736	357	88,51	2175,39	1232,45	30299,61
II. Formation de couverture des terres													
F_lf1 Développement artificiel	0											102,15	102,15
F_lf2 Développement de l'agriculture		147,1	0	1,84									148,94
F_lf3 Conversions et rotations internes		0,19	0,14										0,33
F_lf4 Gestion et altération des espaces forestiers					2 289	3	18,06	61,33					2370,58
F_lf41 Gestion, coupe et replantation						23	823,48	1410,65					2256,79
F_lf5 Restauration et création d'habitats							257,13		98,12	51,67			406,92
F_lf6 Changements dus à des causes naturelles et multiples					6,86			1609,93	40,72	148,43	5729,78		7535,72
F_lf7 Autres changements des terres n.c.a. et réévaluation		49,82	0	0,18	577,32	11,53	5,26			50,37			694,48
Total, formation de couverture des terres	0	197,11	0,14	2,02	2872,73	36,83	1103,93	3081,91	138,84	250,47	5729,78	102,15	13515,91
III. Consommation de couverture des terres													
C_lf1 Développement artificiel		7,9	0,34		32,99	0,04	0,56	6,96	3,68	3,81	45,87		102,15
C_lf2 Développement de l'agriculture		0		10,85	89,03	0,02	1,85	45,73	1,13	0,33			148,94
C_lf3 Conversions et rotations internes		0,14	0,19										0,33
C_lf4 Gestion et altération des espaces forestiers		0					319,58	1 908	112	11,34			2351,08
C_lf41 Gestion, coupe et replantation		0				633,99	1433,31	209					2276,29
C_lf5 Restauration et création d'habitats		0,03	13,55		291,01	9,36	26,99	6,75	51,67		7,56		406,92
C_lf6 Changements dus à des causes naturelles et multiples		12,47	16,72		6486,42	73,48	40,07	293,9	23,1	31,32	51,95	408,23	7437,66
C_lf7 Autres changements des terres n.c.a. et réévaluation		0,06	1,59		139,44	0,3	10,38	6,51			516,83	117,43	792,54
Total, consommation de couverture des terres		20,6	32,39	10,85	7038,89	717,19	1832,74	2477	191,58	46,8	622,21	525,66	13515,91
Changement net de couverture des terres	0	176,51	-32,25	-8,83	-4166,16	-680,36	-728,81	604,91	-52,74	203,67	5107,57	-423,51	
Aucun changement	22,46	719,88	137,75	80,51	9318,1	98,76	1679,68	2259,3	165,58	41,71	1553,18	706,79	16783,7
IV. Stocks de clôture													
Stocks de fermeture	22,46	916,99	137,89	82,53	12 191	135,59	2 784	5 341	304	292,18	7282,96	808,94	30299,61

Tableau 3 : Comptes de couverture des terres

VII.2. Comptes des services fonctionnels de l'infrastructure écosystémique

La zone d'étude est divisée en unités paysagères socio-économiques (UPSE) comme suit (Figure 5) :

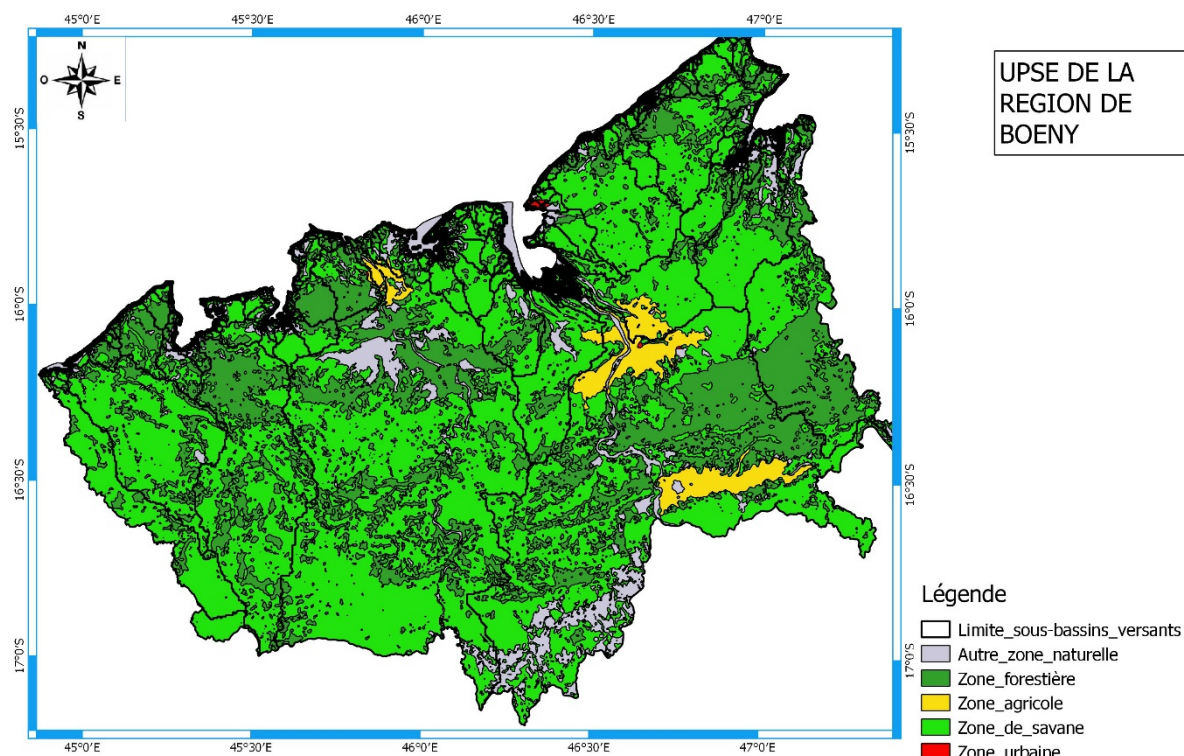


Figure 5: Délimitation des UPSE pour la région de Boeny

Nous avons ensuite distribué ces premiers comptes selon les UPSE choisies, comme présenté dans le tableau 4 suivant :

		SELU/UPSE	LA	FO	GR	unité km²		
			Zone agricole	Zone forestière	Zone de savane	Zone urbaine		Total
I. Bilans de base								
I.1 Comptes de base des occupations du sol [km2]								
01	zones urbaines et surfaces artificielles associées		0,21	0,68	0,45	21,12		22,46
0222	Petits champs de cultures herbacées ou aquatiques		723,06	3,81	13,54	0,07		740,48
0313	Raphiale		1,51	138,37	30,21	0,05		170,14
043	Mosaïques de petits champs agricoles et terres naturelles (cultures diverses)		87,88	0,68	2,8	0		91,36
052	Prairies naturelles (savane et savane arborée)		37,07	1544,35	14 775	0,77		16356,99
061	Couverture forestière 70-100%		0	777,85	38,1	0		815,95
062	Couverture forestière 40-70%		1,18	2852,28	658,88	0,08		3512,42
063	Couverture forstière 10-40%		23,14	2542,56	2 170	0,9		4736,3
0641	Mangroves intactes		1,43	288,13	67,58	0,02		357,16
0644	Mangroves dégradées		0,21	45,94	42,36	0		88,51
10	Sols nus		30,51	96,45	2048	0,43		2175,39
13	Plan d'eau interne		6,74	68,89	1156,41	0,41		1232,45
LC1	Stock d'ouverture de couverture des terres (2010)		912,94	8359,99	21002,83	23,85		30299,61
F_I1	Développement artificiel				102,15			102,15
F_I2	Développement de l'agriculture		148,94					148,94
F_I3	Conversions et rotations internes		0,33					0,33
F_I4	Gestion et altération des espaces forestiers			81,58	2289			2370,58
F_I41	Gestion, coupe et replantation			2256,79				2256,79
F_I5	Restauration et création d'habitats			406,92				406,92
F_I6	Changements dus à des causes naturelles et multiples			1805,94	5729,78			7535,72
F_I7	Autres changements des terres n.c.a. et réévaluation		50	67,16	577,32			694,48
	Formation de couverture des terres 2010		199,27	4618,39	8698,25	0		13515,91
C_I1	Développement artificiel		7,9	15,39	78,86			102,15
C_I2	Développement de l'agriculture		10,85	49,06	89,03			148,94
C_I3	Conversions et rotations internes			0,33				0,33
C_I4	Gestion et altération des espaces forestiers			2351,08				2351,08
C_I41	Geston' coupe et replantation			2276,29				2276,29
C_I5	Restauration et création d'habitats			115,91	291,01			406,92
C_I6	Changements dus à des causes naturelles et multiples				6486,42			7437,66
C_I7	Autres changements des terres n.c.a. et réévaluation				792,54			792,54
	Consommation de couverture des terres 2015		18,75	4808,06	7737,86	0	0	
01	zones urbaines et surfaces artificielles associées		0	0,68	0,66	21,12		22,46
0222	Petits champs de cultures herbacées ou aquatiques		766,1	36,39	114,36	0,14		916,99
0313	Raphiale		1,16	112,66	24,02	0,05		137,89
043	Mosaïques de petits champs agricoles et terres naturelles (cultures diverses)		77,99	0,65	3,89	0		82,53
052	Prairies naturelles (savane et savane arborée)		23,63	1814,25	10352,29	0,66		12190,83
061	Couverture forestière 70-100%		0	123,78	11,81	0		135,59
062	Couverture forestière 40-70%		0	2320,6	462,99	0,02		2783,61
063	Couverture forstière 10-40%		7,13	3134,96	2198,5	0,62		5341,21
0641	Mangroves intactes		0,11	220,42	83,89	0		304,42
0644	Mangroves dégradées		0,15	103,6	188,42	0,01		292,18
10	Sols nus		22	453,8	6805,99	1,17		7282,96
13	Plan d'eau interne		14,67	38,18	756,03	0,06		808,94
	Stock de clôture de couverture des terres 2015		912,94	8359,97	21002,85	23,85		30299,61
I.2 Comptes de base des réseaux hydrographiques [USMR]								
p.m.			p.m.	p.m.	p.m.	p.m.		p.m.
II. Potentiel de l'infrastructure écologique accessible								
LC1	Stock d'ouverture de l'occupation du sol en km2		912,94	8359,97	21002,85	23,85		
PEP01	Indice de fond du paysage vert (IFPV/GBL) (moyenne par km2)		45,78	83,93	66,04	40,44		
PEP02	Indice de haute valeur naturelle paysagère (moyenne par km2)							
PEP03	Indice de fragmentation du paysage (moyenne par km2)							
PEP04	Indice d'écotones verts du paysage (moyenne par km2)		-	-	-	-		-
PEP05	Autre indice de potentiel écosystémique des paysages (PEP) (moyenne par km2)		-	-	-	-		-
PEP_avg1	Indice composite de potentiel écosystémique des paysages (PEP/LEP), moyenne par km2		0,05014568	0,01003951	0,00314434	1,69559748		
PENP1	Potentiel écosystémique net des paysages = LC1 x PEP_avg1		45,78	83,93	66,04	40,44	0	
PERP1	Potentiel écosystémique des rivières dans le paysage = LC1 x PER_avg		p.m.	p.m.	p.m.	p.m.		p.m.
PTIE1	Stock d'ouverture du potentiel total de l'infrastructure écosystémique [PTIE] = PENP1+PERP1							
CH_PTIE1	Changement attribuable à l'utilisation du sol							0
CH_PTIE2	Changement attribuable à la fragmentation							0
CH_PTIE3	Changement attribuable aux écotones							0
CH_PTIE4	Changement attribuable aux rivières							0
CH_PTIE5	Changement attribuable à d'autres causes							0
CH_PTIE	Changement du potentiel total de l'infrastructure écosystémique = PTIE2 - PTIE1						0	
LC2	Stock final de couverture des terres en km2		912,94	8359,97	21002,85	23,85		
PEP01	Indice de fond du paysage vert (IFPV/GBL) (moyenne par km2)		45,07	78,63	63	39,49		
PEP02	Indice de haute valeur naturelle paysagère (moyenne par km2)							
PEP03	Indice de fragmentation du paysage (moyenne par km2)							
PEP04	Indice d'écotones verts du paysage (moyenne par km2)		-	-	-	-		-
PEP05	Autre indice de potentiel écosystémique des paysages (PEP) (moyenne par km2)		-	-	-	-		-
PEP_avg2	Indice composite de potentiel écosystémique des paysages (PEP/LEP), moyenne par km2		0,04936798	0,00940554	0,00299959	1,6557652		
PENP2	Potentiel écosystémique net des paysages = LC1 x PEP_avg2		45,07	78,63	63	39,49	0	
PERP2	Potentiel écosystémique des rivières dans le paysage = LC1 x PER_avg		p.m.	p.m.	p.m.	p.m.		p.m.
PTIE2	Stock d'ouverture du potentiel total de l'infrastructure écosystémique [PTIE] = PENP2+PERP2							0

Tableau 4: Compte des services fonctionnels de l'infrastructure écosystémique

VII.3 Comptes de l'eau écosystémique

Le compte de l'eau écosystémique est calculé entre 2010 et 2015. Nous représentons dans le tableau 5 le compte de l'eau écosystémique pour l'année 2010 (bilan de base). Les données utilisées sont celles des résultats des enquêtes.

Comptabilité écosystémique du capital naturel : Compte de la ressource en eau écosystémique

Unité : m³

Types d'actifs du SCEE-Eau		Lacs et réservoirs	Rivières et autres cours d'eau	Eaux souterraines	Sol et végétation	Total eaux intérieures	Mer	Atmosphère
I. Bilan de base de la ressource en eau écosystémique								
W1	Stocks d'ouverture	1469,62	13906,2	267548		282923,8		
W21	Précipitations	255,25	1151,1		33343,45	34750		
W221	Ruissellement de surface vers les rivières		3857,25			3857,25		
W222	Infiltration/percolation				8513,75	8513,75		
W223	Écoulement des eaux souterraines dans les rivières							
W224	Autres transferts reçus							
W22	Entrées d'eau internes spontanées [transferts]		3857,25		8513,75	12371		
W23	Apports naturels provenant de territoires en amont		13906,2			13906,2		
W241	Apports artificiels d'eau provenant d'autres territoires							
W242	Prélèvement d'eau de mer					0,0025	0,0025	
W24	Apports artificiels d'eau depuis d'autres territoires et depuis la mer					0,0025		
W251	Retour/rejet des eaux usées traitées							
W252	Retour/rejet des eaux usées non traitées/après usage				4,54	4,54		
W253	Retour/rejet des eaux usées non traitées/ruissellement urbain				1,14	1,14		
W25	Retour/rejet des eaux usées dans les eaux intérieures				5,68	5,68		
W261	Pertes d'eau lors du transport et du stockage				3,06766	3,06766		
W262	Eau d'irrigation	34,256	171,28			205,536		
W263	Retour des eaux d'exhaure minier							
W264	Retour d'eau provenant de la production hydroélectrique							
W265	Retour d'eau provenant d'autres productions (y compris eaux de refroidissement)				0,00042	0,00042		
W266	Autres retours d'eau non définis ailleurs							
W26	Autres retours d'eau vers les eaux intérieures	34,256	171,28		3,06808	208,60408		
W2	Total des apports et retours d'eau [augmentation des stocks] = SUM	289,506	15228,58		33352,2	48870,49		
W311	Évapotranspiration spontanée réelle provenant de l'agriculture pluviale et des pâturages				51	51		
W312	Évapotranspiration spontanée réelle des forêts				1168,4	1168,4		
W313	Évapotranspiration spontanée réelle des espaces naturels				826	826		
W314	Évaporation spontanée réelle des plans d'eau		807,6			807,6		
W315	Évaporation spontanée réelle des espaces artificiels				1,34	1,34		
W31	Évapotranspiration spontanée réelle		807,6		2046,74	2854,34		
W321	Ruissellement de surface vers les rivières		3857,25			3857,25		
W322	Infiltration/percolation				8513,75	8513,75		
W323	Remontée des eaux souterraines dans les rivières							
W324	Autres transferts fournis							
W32	Sorties d'eau internes spontanées [transferts]		3857,25		8513,75	12371		
W331	Écoulements naturels vers les territoires en aval							
W332	Écoulements naturels vers la mer		12900			12900		
W33	Écoulements naturels vers les territoires en aval et vers la mer		12900			12900		
W341	Prélèvement pour distribution			8,22		8,22		
W342	Prélèvement pour compte propre dans l'agriculture (y compris irrigation)		272,905			272,905		
W343	Prélèvement pour compte propre dans la production hydroélectrique							
W344	Prélèvement pour compte propre dans d'autres productions (y compris refroidissement)			0,0004		0,0004		
W345	Prélèvement pour compte propre des municipalités et des ménages	0,95	0,62	12,19		13,76		
W34	Prélèvements dans les masses d'eau	0,95	273,525	20,4104		294,8854		
W351	Collecte des eaux de pluie					0,0592	0,0592	
W352	Prélèvement/collecte du ruissellement urbain							
W35	Prélèvement/collecte des eaux de pluie et du ruissellement urbain					0,0592	0,0592	
W36	Évapotranspiration réelle induite par l'irrigation							
W37	Évaporation provenant de l'industrie et d'autres utilisations				1,33	1,33		
W381	Rejet artificiel des eaux non traitées dans la mer							
W382	Autre écoulement artificiel vers d'autres territoires et dans la mer							
W38	Écoulement artificiel des eaux vers d'autres territoires et dans la mer							
W39	Autre variation du volume des stocks et ajustements (+ ou -)							
W3	Total des sorties d'eau [diminution des stocks] = SUM(W34 to W39)	0,95	273,525	20,4104	1,33	296,3338		
W4a	Pluie efficace disponible = W21-W31	255,25	343,5		31296,71	31895,66		
W4	Accumulation nette d'eau écosystémique [ANEE] = W2-W3	288,556	14955,055	-20,4104	33350,868	48574,153		
W5	Stocks de clôture= W1+W4	1758,18	28861,255	267527,6	33350,87	331498		

Tableau 5: Compte de l'eau écosystémique pour l'année 2010 (bilan de base)

Le tableau 6 nous renseigne sur la situation des ressources en eau accessibles .

II. Compte de la ressource écosystémique accessible									
W21	Précipitations	255,25	1151,1	33343,45	34750				
W22	Entrées d'eau internes spontanées [transferts]		3857,25	8513,75	12371				
W23	Apports naturels provenant de territoires en amont		13906,2		13906,2				
W2a	Ressources totales en eau naturelles renouvelables (RTENR) = W21+W22+W23	255,25	18914,55	41857,2	61027,2				
W24	Apports artificiels d'eau depuis d'autres territoires et depuis la mer				0,0025				
W25	Retour/rejet des eaux usées dans les eaux intérieures			5,68	5,68				
W26	Autres retours d'eau vers les eaux intérieures	34,256	171,28	3,06808	208,60408				
W2b	Ressources totales en eau secondaires = W24+W25+W26	34,256	171,28	8,74808	214,28658				
W32	Sorties d'eau internes spontanées [transferts]		3857,25	8513,75	12371				
W33	Écoulements naturels vers les territoires en aval et vers la mer		12900		12900				
W6	Ressources en eau primaires et secondaires nettes = W2a+W2b-W32	289,506	2328,58	33352,2	35970,49				
W1a	Stock de base accessible reporté à nouveau des années précédentes (+)								
W711	Ressources en eau renouvelables irrégulières (régulières si > 90 % du temps) (-)	-440,89			-440,89				
W712	Débites réservés légalement (pour la dilution (DBO), la vie aquatique, la navigation, etc.) (-)								
W713	Apports d'eau non garantis par des traités, des accords, des règlements ou des lois (-)								
W714	Écoulement garanti par des traités, des accords, des règlements ou des lois (-)								
W715	Ressources en eau naturelles inutilisables pour des raisons de qualité (y compris sa)	-307,2			-307,2				
W716	Ressources en eau reculées inaccessibles (-)	-73,48			-73,48				
W717	Ressources en eau renouvelables irrégulières exploitables/stockage annuel (+)	60,21			60,21				
W718	Accumulation nette antérieure des réserves d'eau (+ ou -)								
W719	Autres ajustements d'accessibilité des eaux naturelles (+ ou -)								
W71	Total des ajustements des ressources en eau naturelles renouvelables (+ ou -)	-761,36			-761,36				
W39	Autre variation du volume des stocks et ajustements (+ ou -)								
W7a	Ressources en eau naturelle exploitables = W2a+W1a+W71+W39	-506,11	18914,55	41857,2	60265,84				
W721	Ressources en eau secondaires inutilisables pour des raisons de qualité (-)								
W722	Autres ajustements d'accessibilité des eaux secondaires (+ ou -)								
W72	Total des ajustements des ressources en eau secondaires renouvelables								
W7b	Ressources en eau secondaires exploitables = W2b+W72	34,256	171,28	8,74808	214,28658				
W7	Excédent net d'eau accessible dans l'écosystème [ENEAE] = W7a+W7b	-471,85	19085,83	41865,95	60480,13				

Tableau 6 : Compte de la ressource écosystémique en eau accessible en 2010

III. Compte de l'utilisation totale de l'eau									
W341	Prélèvement pour distribution			8,22	8,22				
W342	Prélèvement pour compte propre dans l'agriculture (y compris irrigation)		272,905		272,905				
W343	Prélèvement pour compte propre dans la production hydroélectrique								
W344	Prélèvement pour compte propre dans d'autres productions (y compris refroidissement)			0,0004	0,0004				
W345	Prélèvement pour compte propre des municipalités et des ménages	0,95	0,62	12,19	13,76				
W81	Prélèvements dans les masses d'eau (W81 = W34)	0,95	273,525	20,4104	294,8854				
W82	Prélèvement/collecte du ruissellement urbain (W84 = W352)								
W83	Collecte des eaux de pluie (W84 = W351)				0,0592				
W311	Évapotranspiration spontanée réelle provenant de l'agriculture pluviale et des pâturages				51				
W312	Évapotranspiration spontanée réelle des forêts				1168,4				
W84	Utilisation d'eau 'verte' par l'agriculture et la foresterie = W311+W312				1219,4				
W8	Utilisation totale de la ressource en eau écosystémique [UTEE]	0,95	273,525	20,4104	1219,4	1514,345			
W91	Apports artificiels d'eau provenant d'autres territoires (W91=W241)								
W92	Prélèvement d'eau de mer (W92=W242)				0,0025	0,0025			
W93	Utilisation des eaux provenant d'autres entités économiques								
W94	Eau réutilisée au sein des entités économiques								
W95	Importation d'eau/contenu des marchandises et des résidus								
W96	Exportation d'eau/contenu des marchandises et des résidus								
W9	Utilisation directe d'eau = W8+W91+W92+W93+W94+W95	0,95	273,525	20,4104	1219,4	1514,347	0,003		
W10	Consommation intérieure d'eau = W9-W96	0,95	273,525	20,4104	1219,4	1514,35	0,003		
W11	Eau virtuelle incorporée dans les marchandises importées								
W12	Exigence totale en eau = W9+W11	0,95	273,525	20,4104	1219,4	1514,347	0,003		

IV. Tableau des indices d'intensité d'utilisation et de santé écosystémique									
W7	Excédent net d'eau accessible dans l'écosystème [ENEAE] = W7a+W7b	-471,85	19085,83		41865,95	60480,13			
W8	Utilisation totale de la ressource en eau écosystémique [UTEE]	0,95	273,525	20,4104	1219,4	1514,3446			
W13 [ISUE]	Intensité soutenable de l'utilisation des ressources en eau écosystémique [ISUE]	-496,69	69,777278		34,33324	39,93815			
W141	Qualité bio-chimique								
W142	Excès de nutriments, eutrophisation								
W143	Modification des indices biotiques, marqueurs biologiques								
W144	Maladies d'origine hydrique								
W145	Dépendance des intrants artificiels								
W146	Variation de l'intensité du stress hydrique naturel								
W14x	Autres...								
W14 [ICES]	Indice composite du changement de l'état de santé de l'eau écosystémique [ICES]								
W15 (VUEI)	Valeur unitaire écosystémique interne (changt) = AVG(W13 [ISUE]+W14 [ICES])								

Tableau 7 : Compte de l'utilisation totale en eau

VII.4 Comptes du carbone écosystémique

Ce compte utilise les données d'enquête et les données « production primaire nette » (PPN) obtenues à partir des images MODIS. Les résultats présentés dans le tableau 8 sont encore préliminaires car nous n'avons pu obtenir certaines données que très récemment.

Classification des unités de couverture des terres écosystémiques (UCT)												Unité: tonnes ou joules	
	01	0222	0313	043	052	061	062	063	0641	0642	10	13	TOTAL
	zones urbaines et surfaces artificielles associées	Netto change de cultures (hors des zones aquatiques)	Épave	Mosaïque de petits champs agricoles et terres naturelles (hors des zones)	Pratiries naturelles (savane et savane arborée)	Couverture forestière 70-100%	Couverture forestière 40-70%	Couverture forestière 10-40%	Mangrove intacte	Mangrove dégradée	Sols nus	Plan d'eau interne	
I. Bilan de base du carbone écosystémique													
C1.11 Arbres				5415,5562		18985443,01	81726637,32	76678328,85	3149186,868	390214,0371			0
C1.12 Arbustes					85858,5								0
C1.13 Végétation herbacée					3848000								0
C1.1 Biocarbone dans la biomasse aérienne vivante	0	0	0	5415,5562	3933858,5	18985443,01	81726637,32	76678328,85	3149186,868	390214,0371	0	0	0
C1.2 Biocarbone dans la litière et le bois mort													0
C1.3 Biocarbone dans les systèmes d'eau													0
C1.41 Biocarbone dans l'atmosphère													0
C1.43 Biocarbone dans d'autres réservoirs de carbone non désignés ailleurs													0
C1.4 Autres réservoirs de biocarbone écosystémique	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C1.5 Biocarbone dans le système de ressources et d'emploi économiques													0
C1 Stocks d'ouverture	0	0	0	5415,5562	3933858,5	18985443	81726637	76678329	3149187	390214,04	0	0	0
C2.1 PPN (Production primaire brute)													0
C2.2 Respiration de la végétation dans l'écosystème (autotrophe)													0
C2.3 PPN (Production primaire nette)	6996570	6442015	12711790	7452095	7592069	14890662	13368129	10769570	12854629	10162549	6534,4	0	0
C2.4 Respiration secondaire des écosystèmes (hétérotrophe)	4197942	3865209	7627074	4471257,6	4555237,8	8934397,2	8020877,4	6456342	7712777,4	6097526,4	3908,64	0	0
C2.a PEN (Production écosystémique nette) = C2.3 - C2.4	2798628	2576806	5084716	2980838,4	3036825,2	5956264,8	5347251,6	4304228	5141851,6	4065017,6	2605,76	0	0
C2.51 Augmentation nette des stocks de poissons/pêches													0
C2.52 Augmentation nette des stocks de poissons/fermes aquacoles													0
C2.53 Augmentation nette du bétail													0
C2.54 Autre production secondaire de biocarbone													0
C2.5 Augmentation nette des stocks de biocarbone secondaire	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C2.61 Apports de la mer/poissons et autres produits animaux												3798,7	0
C2.62 Apports de la mer/produits végétaux													0
C2.63 Importations de biocarbone/marchandises et déchets													0
C2.64 Apports naturels de biocarbone non désignés ailleurs													0
C2.6 Apports de biocarbone venant d'autres pays et de la mer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3798,7	0
C2.71 Retours et applications de fumier		135773,85											0
C2.72 Retours et applications de fumier													0
C2.73 Retours de résidus forestiers													0
C2.74 Rejets des pêches												1139,61	0
C2.7 Retours de production (résidus, fumier, rejets)	0	135773,85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1139,61	0
C2.81 Bœufs et eaux vives													0
C2.82 Déchets solides													0
C2.8 Retours de consommation (bœufs, eaux usées, déchets solides)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C2.b Sous-total de la ressource en biocarbone secondaire	0	135773,85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4938,31	0
C2 Total des apports nets de biocarbone (gains) = C2.a+C2.b	2798628	2712579,85	5084716	2980838,4	3036825,2	5956264,8	5347251,6	4304228	5141852	4065017,6	2605,76	4938,31	0
C3.1 Récolte de produits agricoles		452579,54		132561,66									0
C3.21 Résidus de la production agricole		135773,85		53024,664									0
C3.22 [-] Retours de résidus agricoles [- C2.71]		-135773,85		0									0
C3.2 Prélèvements de résidus agricoles et sous-produits (paille, etc.)	0	0	0	53024,664	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C3.3 Végétation brulée par le bétail													0
C3.41 Récolte de bois d'industrie													0
C3.42 Récolte de bois de chauffage													0
C3.4 Récolte de bois	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C3.51 Résidus de la production forestière													0
C3.52 [-] Retours de résidus forestiers [- C2.73]													0
C3.5 Prélèvements de résidus forestiers	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C3.6 Autres prélèvements de végétation (produits forestiers non ligneux, algues, etc.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C3.a Récolte de produits agricoles, de bois et d'autres végétaux	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C3.71 Produits de l'élevage du bétail		2988,9											0
C3.72 Prises de poissons/fermes aquacoles													0
C3.73 Prises de poissons/pêcheries													0
C3.74 Autres prélèvements d'animaux (y compris la chasse)		10297,48											3798,7
C3.7 Prélèvements de biocarbone animal	0	13286,38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3798,7	0
C3.81 Extraction de tourbe													0
C3.82 Autre extraction de biocarbone secondaire													0
C3.8 Autres prélèvements de biocarbone (y compris la tourbe)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C3.b Prélèvements de biocarbone secondaire	13286,38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3798,7	0
C3 Prélèvement total de biocarbone = C3.a+C3.b	13286,38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3798,7	0

Tableau 8 : Compte du carbone écosystémique pour l'année 2010

VIII- Interprétations

La diminution de la savane (savane arborée et savane arbustive) est remarquable dans le compte de l'occupation des terres (réduction de 183 948 hectares en dix ans). Dans ce compte, une diminution considérable des zones forestières est aussi à remarquer. Ceci est principalement dû aux feux de brousse. Pour les mangroves, il y a 52,74 km² de pertes en cinq ans et 1 409,17 km² pour la forêt. Les pertes sont le résultat de plusieurs phénomènes, pour la forêt il faut considérer la dégradation (1 433 km²) et la déforestation (113 km²). Ces phénomènes sont tous des phénomènes anthropiques expliqués par l'augmentation de la zone artificielle et l'agriculture. Les changements se concentrent dans les UPSE des zones forestières et des zones de savane. Pour les autres UPSE, il n'y a presque pas de

changements. Nous pouvons dire que la migration se concentre dans les endroits propices à la culture.

Le compte de la ressource en eau écosystémique mesure l'excédent net d'eau accessible dans l'écosystème ainsi que son utilisation. Les valeurs de l'indice de soutenabilité de l'utilisation de l'eau (2010 et 2015) sont supérieures à 1 (c'est-à-dire qu'il n'y a pas de surconsommation, autrement dit pas d'épuisement ni de stress sur la ressource), mais elles présentent quand même un écart de 2,91545 par rapport à la situation en 2010. Il y a eu une baisse de la ressource. Les précipitations diminuent de 1 330 millions de m³ sur l'année 2015, ce qui peut certainement être considéré comme l'effet du changement climatique. En outre, le total des sorties d'eau ou diminution des stocks s'accroît de 106,78 millions de m³ en 2015 c'est-à-dire que le prélèvement et l'utilisation d'eau sont plus élevées. D'ailleurs, l'excédent net d'eau accessible depuis l'écosystème augmente de 1 088,27 millions de m³ par rapport à 2010. Cela signifie que le besoin en eau a augmenté.

Pour le compte du carbone écosystémique, il manque encore beaucoup de données. Cependant, d'après les données à notre disposition le rapport de la quantité stockée de carbone à la superficie de la région de Boeny est assez élevé. Ainsi, on pourrait avancer qu'à notre stade, la région Boeny a un bon stock de carbone.

IX- Organisation d'un atelier d'information et d'échange à Mahajanga

Un atelier d'information sur la comptabilité écosystémique a été organisé à Mahajanga, capitale de la région de Boeny, du 28 au 29 juillet 2016. L'invitation a été lancée par Monsieur le Chef de Région. Plusieurs responsables techniques régionaux ont été présents (directeurs régionaux, chefs de services régionaux), ainsi que plusieurs responsables administratifs (maire, préfet, représentant de la région, chef fokontany,...) et responsables traditionnels également. Le premier jour de l'atelier a été consacré à expliquer ce qu'est la comptabilité écosystémique, le contexte de son application à l'échelle d'un pays et à l'échelle locale, les différents comptes biophysiques et la valorisation monétaire. Le travail fait sur Antrema a été également présenté ainsi que les résultats obtenus et les interprétations. L'accent a été mis sur l'utilisation des comptes pour la gestion de l'aire protégée. Durant la deuxième journée, la parole a été donnée aux représentants des différents services techniques et aux décideurs régionaux. Les échanges ont été très animés. Un participant a par exemple posé une question sur la manière de comptabiliser le capital culturel. Les participants ont accepté d'activer un comité de gestion de l'information opérationnelle, exploitant un comité déjà en place pour la gestion des risques et la création de tableaux de bord environnementaux.

IX- Conclusion

Ce travail répond à plusieurs questions majeures : est-il possible d'établir les comptes écosystémiques au niveau régional malgré les contraintes de données et quelle solution permettrait d'y remédier?

L'adaptation de la méthode ENCA au niveau local et régional est réalisable. Cependant, l'accès aux données doit être facilité, surtout au niveau régional. Au niveau local, dans une aire protégée, les données sont plus facilement disponibles. Néanmoins, la méthode ENCA

est une nouvelle méthode donc il n'y a encore de données disponibles par le biais d'autres études comme par exemple sur 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 carbone écosystémique. Il est vrai que pour le compte des services fonctionnels de l'infrastructure des écosystèmes, nous avons seulement réalisé la première partie (bilan de base de l'occupation de sol).

Par ailleurs, les comptes écosystémiques sont réalisés en premier lieu sur les cartes d'occupation des sols donc le premier problème qui est rencontré est la disponibilité (ou non) des images satellitaires. Dans notre cas, pour obtenir la couverture complète de la zone d'étude nous avons dû combiner des images de la même année mais de différentes mois (au sein d'une même saison). La coopération entre plusieurs disciplines est primordiale car pour le compte du carbone écosystémique et le compte de l'eau par exemple on a besoin des taux de carbone procurés par des écologues et les données acquises dans les différents départements.

Une autre question porte sur la fiabilité des comptes. Les deux premiers (occupation des terres et services fonctionnels) dépendent de la qualité des classifications effectuées. Plus les classifications sont précises, plus les comptes réalisés seront fiables. Pour le compte du carbone écosystémique, celui-ci dépend énormément de l'estimation faite par les écologues. Enfin, le compte de l'eau dépend entièrement des données statistiques et météorologiques officielles fournies par les services ministérielles

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 pour les 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 nationaux.

Références bibliographiques

ONE, DGF, FTM, MNP et CI, 2013. Evolution de la couverture de forêts naturelles à Madagascar 2005-2010, Antananarivo. ONE/MO/DOC/33/RAPPORT/01/13.

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. Carbon Balance Management, 2:9, 11 pages.

Rakotondraompiana S., 2015. Rapport final du programme de recherche : “Propositions de méthodologies pour la réalisation d’un inventaire national des richesses naturelles”, 67 pages.

Serra P., Pons X., Sauri D., 2003. Post-classification change detection with data from different sensors: some accuracy considerations. International Journal of Remote Sensing, vol. 24, pp. 3311-3340.

Vapnik V., 1998. Statistical Learning Theory. Wiley, NY.

Weber J.-L., 2014. Comptabilité du capital naturel écosystémique : Trousse de démarrage rapide. Cahier technique CDB no 77, Secrétariat de la convention sur la diversité biologique.