

---

**TABLE DES MATIERES**

<b>REMERCIEMENTS</b> .....	i
<b>TABLE DES MATIERES</b> .....	iii
<b>TABLE DES ILLUSTRATIONS</b> .....	v
<b>Liste des cartes</b> .....	v
<b>Liste des figures</b> .....	v
<b>Liste des photos</b> .....	vi
<b>Liste des tableaux</b> .....	vi
<b>Liste des annexes</b> .....	vi
<b>ACRONYMES</b> .....	vii
<b>GLOSSAIRE</b> .....	ix
<b>INTRODUCTION</b> .....	1
<b>PARTIE I : MILIEU D’ETUDE</b> .....	4
<b>I. Localisation géographique et situation administrative</b> .....	4
<b>II. Milieu physique</b> .....	4
<b>II.1. Climat</b> .....	4
<b>II.2. Géologie et pédologie</b> .....	5
<b>II.3. Hydrographie</b> .....	6
<b>III. Milieu biologique</b> .....	6
<b>III.1. Flore et végétation</b> .....	6
<b>III.2. Faune</b> .....	7
<b>III.3. L’homme et ses activités</b> .....	7
<b>PARTIE II : MATERIELS ET METHODES</b> .....	9
<b>I. Données de base utilisées</b> .....	9
<b>II. Méthodes de collecte de données</b> .....	10
<b>II.1. Etude bibliographique</b> .....	10
<b>II.2. Visite d’institutions</b> .....	11
<b>II.3. Enquêtes</b> .....	11
<b>III. Méthodes de calcul des comptes</b> .....	12
<b>III.1. Comptes de l’eau écosystémique</b> .....	12
<b>III.1.1. Bilan de base</b> .....	12
<b>III.1.2. Indice d’intensité d’utilisation et de sante écosystémique</b> .....	19
<b>III.1.2.1. Intensité d’utilisation</b> .....	19
<b>III.1.2.2. Indice du changement de l’état de santé de l’eau</b> .....	19

III.2. Comptes fonctionnels de l'infrastructure écosystémique .....	20
III.2.1. Unité paysagère socio-écologique (UPSE) .....	20
III.2.2. Stocks des rivières .....	20
III.2.3. Potentiels écosystémiques accessibles.....	20
III.2.3.1. Stocks des potentiels écosystémiques nets du paysage .....	20
III.2.2.2. Stocks des potentiels écosystémiques nets des rivières.....	23
III.2.3. Intensité d'utilisation et de santé écosystémique.....	24
III.2.3.1 Intensité d'utilisation.....	24
III.2.3.2. Indice de changement de l'état de santé de l'écosystème..	24
<b>PARTIE III : RESULTATS ET INTERPRETATIONS .....</b>	<b>26</b>
<b>I. Compte de l'eau écosystemique.....</b>	<b>26</b>
<b>I.1. Bilan de base de la ressource en eau écosystémique.....</b>	<b>26</b>
<b>I.2. Compte de la ressource en eau écosystémique accessible .....</b>	<b>29</b>
<b>I.3. Compte de l'utilisation totale de l'eau .....</b>	<b>31</b>
<b>I.4. Intensité d'utilisation et de santé de l'eau écosystémique.....</b>	<b>33</b>
<b>I.5. Interprétation générale du compte de l'eau .....</b>	<b>34</b>
<b>II. Comptes des services fonctionnels de l'infrastructure écosystemique .....</b>	<b>34</b>
<b>II.1. Les comptes de base de la couverture des terres et des systèmes de rivières</b> .....	<b>34</b>
<b>II.2. Comptes du potentiel de l'infrastructure écosystémique accessible .....</b>	<b>38</b>
<b>II.3. Comptes d'accès aux services fonctionnels de l'infrastructure</b> <b>écosystémique .....</b>	<b>43</b>
<b>II.4. Indices d'intensité d'utilisation et de santé de l'écosystème .....</b>	<b>45</b>
<b>II.5. Interprétation générale du compte fonctionnel de l'infrastructure</b> <b>écosystémique .....</b>	<b>46</b>
<b>PARTIE IV : DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS.....</b>	<b>48</b>
<b>I. Discussions.....</b>	<b>48</b>
<b>II. Recommandations .....</b>	<b>49</b>
<b>CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>51</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>52</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>I</b>

---

**TABLE DES ILLUSTRATIONS**
**Liste des cartes**

Carte 1: Localisation géographique de la NAP Antrema.....	4
Carte 2: Localisation des lacs dans la NAP Antrema .....	9
Carte 3: Localisation des rivières dans la NAP Antrema.....	10
Carte 4: Emplacement des relevés de débit .....	14
Carte 5: Occupation du sol Antrema 2004.....	35
Carte 6: Occupation du sol Antrema 2014.....	35
Carte 7: Flux d'occupation du sol Antrema 2004 et 2014 .....	36
Carte 8: Unité paysagère socio-écologique.....	36
Carte 9: Indice de fond de paysage vert 2004.....	39
Carte 10: Indice de fond de paysage vert 2014.....	39
Carte 11: Indice de haute valeur naturelle 2004 .....	39
Carte 12: Indice de haute valeur naturelle 2014 .....	39
Carte 13: Indice de fragmentation 2004.....	40
Carte 14: Indice de fragmentation 2014.....	40
Carte 15: Indice d'écotones verts 2004.....	40
Carte 16: Indice d'écotones verts 2014.....	40
Carte 17: Potentiel écosystémique du paysage 2004 .....	41
Carte 18: Potentiel écosystémique du paysage 2014.....	41

**Liste des figures**

Figure 1: Diagramme ombrothermique selon la méthode de Gaussen (P=2T) Antrema 2004.....	5
Figure 2: Diagramme ombrothermique selon la méthode de Gaussen (P=2T) Antrema 2014.....	5
Figure 3: Dispositif de mesure de la profondeur moyenne d'un lac .....	12
Figure 4: Dispositif de mesure de la vitesse du courant .....	13
Figure 5: Dispositif de mesure de la surface mouillée.....	14
Figure 6: Bilan de l'écoulement des eaux souterraines pour le continent Afrique (Postel et <i>al.</i> , 1996) .....	16
Figure 7: Variation interannuelle de précipitations dans la NAP Antrema entre 2004 et 2014.....	26

### Liste des photos

Photo 1: Riziculture améliorée clôturée.....	8
Photo 2: Zébu à Antrema .....	8
Photo 3: Pêche au filet .....	8
Photo 4: Confection de paniers et de nattes par une femme dans le village .....	8

### Liste des tableaux

Tableau 1: Indice de qualité d'aptitude à la biologie de l'eau (MEDD et AE France, 2003) .....	19
Tableau 2: Evaluation des paramètres d'indice de haute valeur naturelle (Stuber, 2008) .....	21
Tableau 3: Classification des écotones en fonction des catégories de couverture des terres.....	22
Tableau 4: Note attribuée pour l'indice d'écotones verts .....	22
Tableau 5: Débit des rivières dans la NAP Antrema .....	27
Tableau 6: Bilan de base de la ressource en eau écosystémique en 2004.....	27
Tableau 7: Bilan de base de la ressource en eau écosystémique en 2014.....	28
Tableau 8: Compte de la ressource en eau écosystémique accessible en 2004 .....	29
Tableau 9: Compte de la ressource en eau écosystémique accessible en 2014 .....	29
Tableau 10: Compte de l'utilisation totale de l'eau en 2004 .....	31
Tableau 11: Compte de l'utilisation totale de l'eau en 2014 .....	31
Tableau 12: Indices d'intensité d'utilisation et de santé écosystémique .....	33
Tableau 13: Comptes de base de la couverture des terres et des systèmes de rivières... ..	37
Tableau 14: Compte de potentiel de l'infrastructure écosystémique accessible.....	42
Tableau 15: Compte d'accès aux services fonctionnels de l'infrastructure écosystémique .....	44
Tableau 16: Indice d'intensité d'utilisation et de santé de l'écosystème .....	45

### Liste des annexes

ANNEXE 1: Fiche d'enquête sur les plantes.....	I
ANNEXE 2: Fiche d'enquête sur les lacs et l'utilisation des eaux.....	III
ANNEXE 3: Fiche d'enquête sur les exportations et importations .....	IV

ANNEXE 4: Précipitation (mm) et température (°C) mensuelles de 2004 à 2014....	V
ANNEXE 5: Liste des lacs permanents (P) et non permanents (NP) dans la NAP Antrema.....	VI
ANNEXE 6: Evapotranspiration spontanée réelle de la NAP Antrema .....	VI
ANNEXE 7: Prélèvement d'eau par les ménages dans la NAP Antrema .....	VII
ANNEXE 8: Eau virtuelle dans les produits importés à Antrema.....	VII
ANNEXE 9: Tableau détaillé du compte eau 2004 .....	VIII
ANNEXE 10: Tableau détaillé du compte eau 2014 .....	X
ANNEXE 11: Notes sur le potentiel écosystémique du paysage.....	XII
ANNEXE 12: Notes sur les indices de santé des écosystèmes.....	XIV



## ACRONYMES

<b>AEE</b>	: Agence Européenne pour l'Environnement.
<b>ANEE</b>	: Accumulation nette d'eau écosystémique.
<b>CDB</b>	: Convention sur la Diversité Biologique.
<b>CECN</b>	: Comptabilité écosystémique du capital naturel.
<b>CITES</b>	: Convention of International Trade of Endangered Species (Convention sur le commerce international des espèces en voie de disparition).
<b>CTD</b>	: Couverture des terres dominante.
<b>DBEV</b>	: Département de Biologie et Ecologie Végétales.
<b>DEA</b>	: Diplôme d'Etudes Approfondies.
<b>DESS</b>	: Diplôme d'Etudes Supérieures Spécialisées en Sciences de l'Environnement.
<b>DRFP</b>	: Direction de la Recherche Forestière et Piscicole.
<b>EIES</b>	: Etude d'Impact Environnemental et Social.
<b>ENCA</b>	: Ecosystem Natural Capital Accounts.
<b>ENEAE</b>	: Excédent net d'eau accessible dans l'écosystème.
<b>GPS</b>	: Global Positioning System.
<b>ICES</b>	: Indice composite du changement de l'état de santé de l'écosystème.
<b>IEC</b>	: Information-Education-Communication.
<b>IFER</b>	: Indice de fond des écosystèmes-rivières.
<b>IFPV</b>	: Indice de fond du paysage vert.
<b>IHVN</b>	: Indice de haute valeur naturelle.
<b>IOGA</b>	: Institut et Observatoire de Géophysique d'Antananarivo.
<b>IU</b>	: Intensité d'utilisation.
<b>IUIE</b>	: Intensité d'usage de l'infrastructure écosystémique.
<b>MODIS</b>	: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer.
<b>NAP</b>	: Nouvelle Aire Protégée.
<b>NTU</b>	: Nephelometric Turbidity Unit.
<b>ONE</b>	: Office National pour l'Environnement.
<b>ONU</b>	: Organisation des Nations Unies.
<b>PENP</b>	: Potentiel écosystémique net des paysages.
<b>PENR</b>	: Potentiel écosystémique net des rivières.
<b>PEP</b>	: Potentiel écosystémique du paysage.
<b>PER</b>	: Potentiel écosystémique des rivières.

<b>pH</b>	: Potentiel en Hydrogène.
<b>PTIE</b>	: Potentiel total de l'infrastructure écosystémique.
<b>REBIOMA</b>	: Réseau de la biodiversité de Madagascar.
<b>RTENR</b>	: Ressources totales en eaux naturelles renouvelables.
<b>SAPM</b>	: Système des aires protégées de Madagascar.
<b>SCEE</b>	: Système de Comptabilité Environnementale-Economique.
<b>SEEA</b>	: System of Environmental Economic Accounting
<b>SEQ-Eau</b>	: Système d'évaluation de la qualité de l'eau.
<b>SFUM</b>	: Station Forestière à Usage Multiple.
<b>SIG</b>	: Système d'information géographique.
<b>TEEB</b>	: The Economics of Ecosystems and Biodiversity.
<b>UICN</b>	: Union Internationale pour la Conservation de la Nature.
<b>UNCEEA</b>	: United Nations Committee of Experts on Environmental-Economic Accounting (Comité d'experts des Nations-Unies sur la comptabilité environnementale économique).
<b>UPSE</b>	: Unité paysagère socio-écologique.
<b>USMR</b>	: Unité standard de mesure des rivières.
<b>USR</b>	: Unité de systèmes des rivières.
<b>UTEE</b>	: Utilisation totale de la ressource en eau écosystémique.
<b>VNA</b>	: Vaomieran'ny Ala.
<b>VUEI</b>	: Valeur unitaire écosystémique interne.

---

## GLOSSAIRE

**Actifs:** « Les actifs liés aux ressources en eau sont définis comme étant l'eau se trouvant dans les masses d'eau douce, eaux de surface saumâtres et masses d'eau souterraines qui existent à l'intérieur des limites du territoire national et dont l'utilisation directe apporte des avantages actuels ou futurs sous forme de matières premières et qui sont sujettes à épuisement par suite de leur utilisation aux fins des activités de l'homme. La classification des actifs liés aux ressources en eau du SCEE-Eau comprend les catégories suivantes : eaux de surface (réservoirs artificiels, lacs, rivières et cours d'eau, glaciers, neige et glace), eaux souterraines et l'eau du sol » (SCEE-Eau).

**Amélioration de l'écosystème:** « augmentation et/ou amélioration qualitative d'un actif écosystémique qui est due à l'activité humaine, économique ou autre » (SCEE).

**Bassin versant :** « zone géographique drainée par une rivière et de ses affluents. Il est caractérisé par des eaux de ruissellement envoyées à un même exutoire. Il est aussi appelé bassin fluvial, bassin de drainage, ou bassins hydrographique » (CECN).

**Capabilité écosystémique du capital :** « aptitude globale des écosystèmes de fournir des services maintenant et à l'avenir sans dégrader leur potentiel de renouvellement. La capabilité de l'écosystème reflète sa performance globale en ce qui concerne le biocarbone, l'eau et les services intangibles qui dépendent de l'intégrité de l'écosystème et son bon fonctionnement » (CECN).

**Capital naturel:** Pour l'Évaluation des écosystèmes pour le Millénaire et TEEB, le capital naturel est « une métaphore économique pour les stocks limités de ressources physiques et biologiques qui se trouvent sur la terre ».

**Consommation d'eau (utilisation consommatrice):** "La partie de l'eau prélevée de sa source pour une utilisation dans un secteur spécifique (par exemple à des fins agricoles, industrielles ou municipales) qui ne redeviendra pas disponible pour une réutilisation en raison de son évaporation, transpiration, incorporation dans des produits, drainage direct vers la mer des zones d'évaporation, ou autre retrait de ressource en eau douce. Elle s'oppose à l'utilisation non-consommatrice de l'eau " (FAO/AQUASTAT).

**Couverture des terres (ou occupation des terres):** « La couverture terrestre correspond à une description (bio) physique de la surface de la terre. C'est ce qui recouvre le sol. Cette description permet de distinguer diverses catégories biophysiques – fondamentalement, les zones de végétation (arbres, buissons, champs, pelouses), les sols nus, les surfaces dures (rochers, bâtiments), les zones humides et les surfaces en eau (cours d'eau, lacs etc.) » (AEE).

**Déforestation :** « la diminution du stock de forêts et autres terres boisées en raison de la perte totale de la couverture forestière et le transfert des terres forestières vers d'autres utilisations (comme les terres agricoles, les terrains bâtis, routes, etc.) ou vers aucune utilisation identifiable » (SCEE).

**Dégradation** : elle « tient compte des changements dans la capacité des actifs environnementaux de livrer une large gamme de services écosystémiques et de la mesure dans laquelle cette capacité peut être réduite grâce à l'action des unités économiques, y compris les ménages » (SCEE).

**Eau bleue**: «L'eau des lacs, des rivières et des aquifères. L'eau bleue apparaît sous deux formes différentes: ruissellement des masses d'eau de surface et écoulement des eaux souterraines renouvelables dans les aquifères » (FAO/AQUASTAT).

**Eau de surface exploitable renouvelable et régulière** : « la quantité annuelle moyenne d'eau de surface qui est disponible avec une fréquence de 90 pour cent du temps. Dans la pratique, elle est équivalente au débit d'étiage d'une rivière. C'est la ressource qui est accessible avec un flux régulier pour les prélèvements ou le transfert » (FAO/AQUASTAT).

**Eau de surface / Eaux intérieures**: « toutes les eaux qui s'écoulent ou sont stockées sur le sol indépendamment de leurs niveaux de salinité. Elles englobent l'eau des réservoirs artificiels, des lacs, des fleuves, rivières et ruisseaux, ainsi que la neige, la glace et les glaciers » (SCEE).

**Eau grise**: « Le volume d'eau douce qui est nécessaire pour assimiler la charge de polluants en tenant compte des concentrations de fond naturelles et des normes existantes de qualité de l'eau dans l'environnement. Il est calculé comme le volume d'eau qui est nécessaire pour diluer les polluants dans une mesure telle que la qualité de l'eau reste au-dessus des normes de qualité de l'eau approuvées » (Water Footprint).

**Eau verte**: « La fraction des précipitations qui est stockée dans le sol et disponible pour la croissance des plantes » (FAO/AQUASTAT).

**Ecosystèmes**: «Les écosystèmes sont un complexe dynamique de plantes, d'animaux et de micro-organismes et leur environnement non vivant interagissant comme une unité fonctionnelle » (Convention sur la diversité biologique).

**Épuisement** : « en termes physiques, c'est la diminution de la quantité du stock d'une ressource naturelle sur une période comptable qui est due à l'extraction des ressources naturelles par les unités économiques lorsqu'elle se produit à un rythme supérieur à celui de la régénération » (SCEE).

**Évapotranspiration potentielle**: « L'ETP est la quantité maximale d'eau susceptible d'être perdue comme la vapeur d'eau, dans un climat donné, par une étendue continue couverte de végétation et bien alimentée en eau. Elle comprend donc l'évaporation du sol et la transpiration de la végétation d'une région spécifique pour un intervalle de temps donné » (FAO/AQUASTAT).

**Évapotranspiration réelle**: « L'évapotranspiration réelle (ETR) représente le taux réel de l'absorption d'eau par la plante, qui est déterminé par le niveau de l'eau disponible dans le sol et combine simultanément les deux pertes par évaporation de la surface du sol et par transpiration de la surface de la plante » (FAO/AQUASTAT).

**Infrastructure écologique:** « Tout espace qui fournit des services tels que eau douce, régulation du micro climat, loisirs, etc., à une large population avoisinante, généralement urbaine. Parfois appelée infrastructure verte » (TEEB).

**Ressource accessible:** « la quantité d'une ressource qui est accessible pour des usages d'une manière durable. Ce n'est pas le stock lui-même, ni le stock total augmenté des flux entrants. L'accessibilité prend en compte la partie de la ressource qui est nécessaire à l'écosystème pour son propre renouvellement et le fait que seul un excédent est exploitable de manière durable » (CECN).

**Retour d'eau:** « La part de l'eau prélevée à des fins agricoles, industrielles ou domestiques qui est renvoyée vers les eaux souterraines ou les eaux de surface dans le même bassin versant que l'endroit où elle a été extraite. Cette eau peut potentiellement être prélevée et utilisée à nouveau » (Water Footprint).

**Santé de l'écosystème:** « Etat ou condition d'un écosystème qui présente les attributs de la biodiversité dans des plages « normales » par rapport à son stade de développement écologique. La santé de l'écosystème dépend, entre autres de sa résilience et de sa résistance » (TEEB).

**Services écosystémiques culturels:** « Les bénéfices immatériels que les gens retirent des écosystèmes à travers l'enrichissement spirituel, le développement cognitif, la réflexion, les loisirs, et l'expérience esthétique, y compris, par exemple, les systèmes de connaissances, les relations sociales, et les valeurs esthétiques » (MA2005 et TEEB).

**Services écosystémiques:** « Les contributions directes et indirectes des écosystèmes au bien-être humain. Le concept de « biens et services écosystémiques » est synonyme de services écosystémiques » (TEEB). « Les services écosystémiques sont les contributions des écosystèmes aux avantages obtenus par les activités humaines, économiques et autres. [...] Les services écosystémiques ne sont définis que si une contribution à un avantage est établie » (SCEE).

**Stress hydrique:** « symptômes de la rareté ou de la pénurie d'eau, par exemple, restrictions d'utilisation généralisées, fréquentes et graves, de plus en plus de conflits entre les utilisateurs et concurrence pour l'eau, baisse du niveau de fiabilité et de service, mauvaises récoltes et insécurité alimentaire » (FAO-AQUASTAT).

**Unité de couverture des terres écosystémiques (UCTE) :** « Une unité écosystémique de couverture des terres (UCTE) est définie, dans la plupart des zones terrestres, par zones satisfaisant un ensemble prédéterminé de facteurs liés aux caractéristiques d'un écosystème » (SCEE).

**Unité de système de rivières (USR):** « Les USR sont des unités comptables écosystémiques. Elles sont définies comme le réseau hydrologique contenu dans un bassin ou un le plus souvent sous bassin et utilisées pour la comptabilité écosystémique. Les USR sont composées de tronçons de cours d'eau homogènes (TCH) » (CECN).

**Unité paysagère socio-écologique (UPSE):** « les UPSE sont des unités comptables écosystémiques. Elles sont la représentation de systèmes socio-écologiques terrestres et sont classées selon le type de paysage dominant et d'autres critères géographiques » (CECN).

**Unité standard de mesure des rivières (USMR) :** « unité de compte utilisée pour quantifier des rivières et cours d'eau de taille différente. L'USMR est définie comme 1 km x 1m<sup>3</sup> x 1 seconde<sup>-1</sup>. Des expressions synonymes sont le kilomètre standardisé de rivière (SRKm) ou l'unité de rivière standard (SRU) » (CECN).

**Valeur écologique unitaire :** « valeur écologique d'une unité de ressource accessible mesurée en ECU, l'unité de compte standard utilisée dans la CECN pour mesurer la capacité de l'écosystème. En économie, la valeur unitaire est le prix moyen pondéré d'une quantité donnée. Dans la CECN, la valeur écologique unitaire est calculée par unité comptable écosystémique (UCE); son rôle est équivalent à un prix moyen écologique » (CECN).

**Valeur écologique unitaire interne :** « une unité-équivalente calculée pour chaque composante d'un écosystème (carbone et eau écosystémiques et services fonctionnels d'infrastructure) en faisant la moyenne de son indice d'utilisation durable et de son indice de santé spécifique. « Interne » signifie que les effets d'un composant sur les deux autres ne sont pas pris en comptes à ce stade. Ils seront intégrés lors du calcul du prix en ECU » (CECN).

# **INTRODUCTION**

## INTRODUCTION

La performance économique est une des priorités les plus importantes des décideurs d'aujourd'hui. Elle est l'indicateur principal de la richesse et de la prospérité des pays. Malheureusement, les outils et les cadres utilisés de nos jours pour mesurer cette performance économique ne tiennent pas compte des composants critiques de la richesse. C'est particulièrement le cas de l'énorme valeur économique que procurent les écosystèmes et la diversité biologique qui les sous-tend (CDB, 2014). Une activité économique durable prend en compte l'évolution dans le temps du capital naturel et du capital physique pour les générations présentes et à venir (Tietenberg et *al.*, 2013). Le capital naturel comprend les biens naturels de la Terre (le sol, l'air, l'eau, la faune et la flore), et les services écosystémiques qui en résultent et qui rendent la vie humaine possible. Les biens et services écosystémiques issus du capital naturel représentent une valeur équivalente à plus de mille milliards de dollars américains par an et constituent nourriture, fibres, eau, santé, énergie, sécurité climatique et aussi d'autres services essentiels à tous. Ni ces services ni le stock de capital naturel qui les fournit ne sont adéquatement évalués comparé au capital social et financier. Bien que fondamentaux à notre bien-être, leur usage quotidien demeure quasiment inaperçu au sein de notre système économique. Or une telle utilisation du capital naturel n'est pas durable. Le secteur privé, les gouvernements, chacun d'entre nous, doivent de plus en plus comprendre et être en mesure de justifier notre utilisation du capital naturel, et reconnaître le coût réel de la croissance économique et de la préservation du bien-être humain aujourd'hui et demain. Ainsi, il est nécessaire de considérer les richesses naturelles dans les comptes nationaux d'un pays pour avoir une idée précise des impacts des activités économiques sur la population (CDB, 2014).

Plusieurs réunions internationales recommandent l'utilisation de la comptabilité du capital naturel. Le Sommet de Rio en 1992 a évoqué son utilité (UN, 1992). La conférence des parties de la Convention sur la Diversité Biologique (CDB) en 2010 a recommandé sa mise en place dans les pays avant 2020 (CDB, 2014). Le Sommet des pays de l'Afrique Australe ont émis la nécessité de disposer de comptes nationaux du capital naturel en 2012 (Déclaration de Gaborone). De son côté, le comité d'experts des Nations-Unies sur la comptabilité environnementale économique (UNCEE) a mis en place les bases d'une comptabilité environnementale économique (SEEA).

La comptabilité du capital naturel donne une vue d'ensemble de la situation et de l'évolution des richesses naturelles d'un pays entre deux dates. Elle permet une compréhension générale des changements de l'état de l'écosystème associés aux activités anthropiques (Weber,

2014). Ceci devrait permettre aux décideurs de réorienter les activités économiques afin de les rendre durables. En effet, malgré les données et les différentes études existantes, les connaissances et les informations que l'on possède sur l'évolution à moyen ou à long terme de l'écosystème restent fragmentaires et non reliées entre elles (Weber, 1987).

Les comptes du capital naturel se déclinent en général en comptes biophysiques et comptes monétaires. Les comptes biophysiques font l'inventaire physique des différentes composantes de la biodiversité. Les comptes monétaires transcrivent les éléments des comptes précédents en termes monétaires. Ce qui permet d'estimer les valeurs économiques de chaque composante. Cette étude ne parle que des comptes biophysiques et la méthodologie comptable adoptée est celle proposée par le SEEA-ENCA.

Jusqu'ici, on considère la comptabilité du capital naturel comme un outil macro-économique à mettre en œuvre au niveau national (Weber, 2014). Mais dans cette étude, elle est appliquée à la gestion d'une aire protégée de taille relativement modeste, la Nouvelle Aire Protégée d'Antrema au Nord-Ouest de Madagascar. Puisque la comptabilité se fait toujours en deux dates, on a choisi les dates 2004 et 2014. Il s'agit d'un compte de dix ans pour évaluer l'efficacité de la gestion de la Nouvelle Aire Protégée d'Antrema depuis sa création.

Une étude a été déjà réalisée dans cette aire protégée concernant la comptabilité écosystémique par Ramihangihajason en 2015 intitulée : « Apport de la télédétection et du système d'information géographique dans l'établissement de la comptabilité des écosystèmes », elle portait sur les comptes de couverture de terre et du carbone écosystémique. La présente étude en fait suite mais portant sur le compte de l'eau écosystémique et de la biodiversité et s'intitule « Essai de comptabilité écosystémique du capital naturel dans la nouvelle aire protégée d'Antrema : eau et biodiversité ».

L'objectif global de cette étude est d'évaluer l'état et les variations du capital naturel dans la NAP Antrema afin d'avoir une vue synthétique de l'état de l'environnement pour la gestion de cette aire protégée.

Les objectifs spécifiques sont de :

- Mesurer le total et les flux des stocks de base ;
- Evaluer l'excédent de ressource écosystémique accessible ;
- Calculer l'utilisation totale de la ressource (domestique et importée, biologique) ;
- Elaborer des indices de santé et/ou détresse des écosystèmes.

Deux hypothèses ont été posées :

- Entre 2004 et 2014, le stock de la ressource en eau diminue mais les ressources accessibles et exploitables restent suffisantes pour maintenir les besoins du fonctionnement de l'écosystème et de l'utilisation humaine.
- Entre 2004 et 2014, il y a dégradation et diminution des stocks de couverture des terres mais la santé et les services écosystémiques fournis sont maintenus.

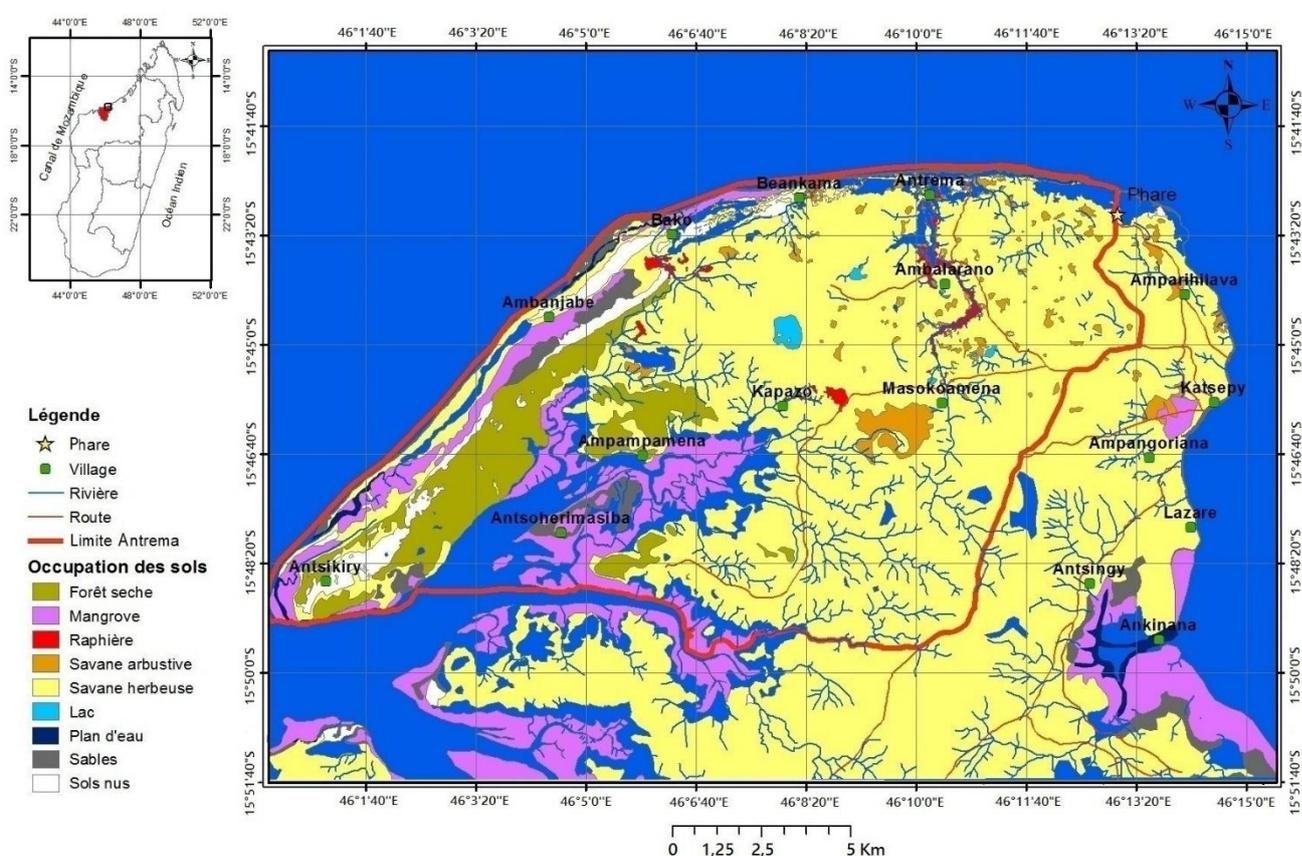
Cette étude comprend quatre grandes parties :

- La première partie est consacrée à la présentation du milieu d'étude ;
- La deuxième partie explique les méthodes d'études ;
- La troisième partie présente les résultats et interprétations ;
- La quatrième partie est réservée à la discussion.

**PARTIE I :**  
**MILIEU D'ETUDE**

## I. LOCALISATION GEOGRAPHIQUE ET SITUATION ADMINISTRATIVE

La NAP Antrema se situe dans l'ex-province de Majunga, Région Boeny, dans la Commune rurale de Katsepy, du District de Mitsinjo et du Fokontany d'Antrema. Elle se trouve à 12 km de la ville de Katsepy, entre 15°42' à 15°50' de latitude Sud et 46° à 46°15' de longitude Est. Elle est limitée au Nord, par le canal de Mozambique et par l'estuaire de Betsiboka, au Sud, par le Delta de la Mahavavy (**Carte 1**). Elle s'étend sur une superficie de 20620 ha dont 1000 ha de réserve marine, (REBIOMA, 2010). C'est une Aire Protégée de catégorie VI selon l'UICN, nouvellement créée en 2015 selon le décret 2015/712. La limite de la NAP coïncide à la limite administrative du « Fokontany ».



**Carte 1:** Localisation géographique de la NAP Antrema

## II. MILIEU PHYSIQUE

### II.1. Climat

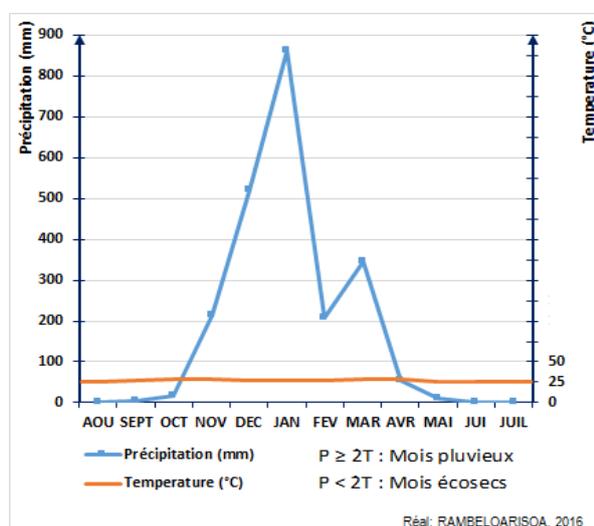
La nouvelle aire protégée d'Antrema est soumise à un climat tropical sec de type bioclimatique subhumide chaud (Morat, 1973). Elle est notamment caractérisée par la présence de deux saisons bien distinctes :

- la saison sèche et fraîche, qui s'étend de Mai jusqu'à Octobre ;
- la saison humide et chaude, caractérisée par des pluies abondantes s'étalant de Novembre à Avril.

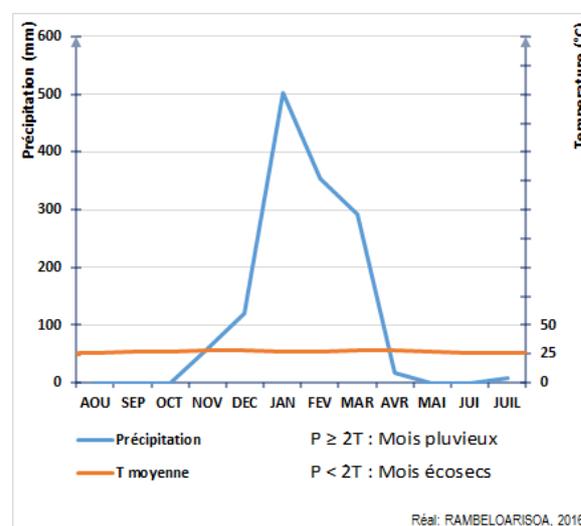
De 2004 à 2014, la température moyenne est de l'ordre de 27°C. La moyenne des températures minimales est de 22,23°C et celles des maximales de 32,03°C. La saison la plus chaude est située entre Novembre et Avril avec un pic au mois de Novembre, qui correspond au mois le plus chaud, où la température maximale mensuelle peut monter jusqu'à 33,3°C. La température minimale mensuelle se localise au mois d'Août, correspondant au mois le plus froid, avec une valeur pouvant baisser jusqu'à 18°C.

De 2004 à 2014, la pluviosité moyenne annuelle est de 1267 mm et présente une répartition inégale dans le temps. La saison sèche qui se situe d'Avril à Octobre est très marquée, avec une précipitation mensuelle d'environ 12,3 mm en 2004 et 3,57 mm en 2014. La précipitation mensuelle la plus élevée se rencontre en janvier avec 863,1 mm en 2004 et 501,9 mm en 2014.

La précipitation et température mensuelles de 2004 à 2014 se trouvent en **annexe 4**. Les diagrammes ombrothermiques de la NAP sont présentés par les **figures 1 et 2** suivantes.



**Figure 1:** Diagramme ombrothermique selon la méthode de Gausson ( $P=2T$ ) Antrema 2004



**Figure 2:** Diagramme ombrothermique selon la méthode de Gausson ( $P=2T$ ) Antrema 2014

## II.2. Géologie et pédologie

La NAP Antrema repose sur un bassin sédimentaire le long d'une côte basse alluviale et uniformément sableuse (Besairie, 1966). Le relief est constitué par des plateaux découpés en plusieurs endroits par des vallons et des ruisseaux (Randrianjafy, 1999). Les substrats sont

généralement de type ferrugineux tropical de couleur rougeâtre. Une couche épaisse de sables blancs recouvre les formations géologiques et donne un sol très perméable aux eaux de pluies (Gauthier et Leclerc, 2000).

### II.3. Hydrographie

Le réseau hydrographique de la NAP Antrema est constitué par des lacs permanents et saisonniers et des rivières dont les principales sont ceux d'Antsoherimasiba, Andranomasabo et Ambatolafia. Ces rivières se jettent toutes dans le canal de Mozambique (Gauthier et Leclerc, 2000).

## III. MILIEU BIOLOGIQUE

### III.1. Flore et végétation

La NAP Antrema fait partie du Domaine de l'Ouest de Madagascar (Humbert, 1965) et incluse dans la zone éco floristique de basse altitude (Rajeriarison et Faramalala, 1999). La végétation climacique est une forêt dense sèche caducifoliée de la série à *Dalbergia*, *Hildegardia* et *Commiphora* (Humbert, 1965).

Du fait de la variation pédologique et topographique dans la NAP, elle abrite une multitude d'écosystèmes, à savoir des forêts denses sèches caducifoliées, mangrove, végétation de plage, savanes, marais et lacs continentaux (DBEV, 2009).

Les forêts denses sèches caducifoliées sont des forêts pluristratifiées avec 3 strates dont une strate inférieure, une strate moyenne et une strate supérieure, respectivement de 0 à 3m, 3 à 6m et 6 à 9m de hauteur. Suivant le substrat, elles sont de deux types (Petit, 1995) :

- Les forêts denses sèches sur sols ferrugineux qui sont des formations basses, de 8 m de hauteur, à voûte semi-ouverte, qui ne possèdent pas de tapis herbacé, de fougères et des mousses ;
- Les forêts denses sèches sur sables dunaires qui sont des formations assez fermées et d'une hauteur maximale de 9m, caractérisées par l'absence de tapis graminéen.

Les espèces rencontrées dans la NAP ont des caractères d'adaptations biologiques au milieu sec dont les plus remarquables sont la caducité du feuillage (totale ou partielle) et la crassulescence-succulence foliaire. La crassulescence est souvent associée à l'aphyllie, c'est-à-dire que la plante est dépourvue de feuilles mais présentant une tige verte et charnue (cas de *Vanilla madagascariensis*).

Sur le plan floristique, la NAP Antrema est très riche avec 220 espèces qui se répartissent dans 170 genres et 72 familles. Parmi ces espèces, 74,29 % sont endémiques de Madagascar (Association Reniala, 2016).

### III.2. Faune

D'après les données obtenues à partir des travaux des équipes nationales et étrangères depuis 1998, cette péninsule abrite un grand nombre d'espèces fauniques (Roger *et al.*, 2000). On note surtout la diversité de certains taxa comme les Primates, les Micromammifères, les Oiseaux, les Reptiles, les Amphibiens et les Insectes :

- 5 espèces de Primates endémiques de Madagascar ont été trouvées dans la NAP Antrema. Ce sont *Propithecus coronatus*, *Eulemur mongoz*, *Eulemur fulvus rufus*, *Microcebus murinus* et *Lepilemur aechii*.
- 4 espèces de Micromammifères ont été recensées, à savoir *Tenrec ecaudatus*, *Rattus rattus*, *Setifer setosus* et *Suncus madagascariensis* (Association Reniala, 2016).
- Environ 75 espèces d'Oiseaux ont été enregistrées.
- 26 espèces de Reptiles dont *Sanzinia madagascarensis*, *Phelsuma madagascarensis*, *Liophidium torquatum*, *Leioheterodon madagascarensis*, *Acrantopis dumerlii* et *Crocodylus niloticus* (Association Reniala, 2016).
- 5 espèces d'Amphibiens dont *Boophis tephraeomystax*, *Heterixalus luteostriatus* ...
- 51 espèces de poissons appartenant à 32 Familles ont été recensées dans la NAP comme *Arius madagascariensis*, *Paratilapia* sp.... (Association Reniala, 2016).
- De nombreux invertébrés aquatiques et terrestres comme les Mollusques, les Crustacés...

### III.3. L'homme et ses activités

La communauté riveraine appartient au groupe ethnique « Sakalava Marambitsy » mais d'autres ethnies sont aussi représentées comme les Tsimihety, les Betsimisaraka, les Betsileo, et les Merina. La densité de la population est de 7,21 habitants par km<sup>2</sup> en 2006 (Andriamanoarisoa, 2006). Dans la NAP, les lémuriens, en particulier les « Sifaka » ou *Propithecus coronatus* sont vénérés par les habitants locaux comme leurs ancêtres ; de ce fait, il est interdit de les manger et de les chasser.

Les activités économiques de la population sont constituées par :

- **L'agriculture** dont la riziculture est la plus pratiquée dans la NAP Antrema (**Photo 1**), mais d'autres types de cultures comme la culture de manioc, de patate douce sont aussi observées. La production est destinée à l'autoconsommation. L'aridité du climat (6 à 7 mois de saison sèche) ainsi que la présence des sangliers qui détruisent les cultures, constituent parfois un facteur de blocage pour le développement des activités agricoles dans la NAP. Les villageois, dans leur totalité, cultivent deux fois par an sur les mêmes rizières, le « vary asara » et le « vary jeby ».

- **L'élevage** est très courant dans la région mais celui du bovin est le plus développé (**Photo 2**). Outre, les petits élevages aviaires et caprins sont aussi pratiqués dans la NAP. L'élevage bovin tient une place importante aussi bien sur le plan économique que sur le plan culturel. Il est pratiqué de manière semi-extensive (omby tobaka) en profitant ce qu'offrent la savane et la forêt pour alimenter les bétails. Livrés à eux-mêmes, les zébus occasionnent des dégâts sur les cultures non clôturées et cela est source de litiges entre les villageois. L'élevage de volailles est pratiqué dans tous les villages aux fins d'autoconsommation.



**Photo 2:** Riziculture améliorée clôturée



**Photo 1:** Zébu à Antrema

- **La pêche** constitue la principale activité dans la NAP Antrema (**Photo 3**). Les 49,86% de la population, dont 70% sont âgés de 18 à 35 ans sont des pêcheurs. La pêche la plus répandue est la pêche aux « tsivakia » (chevaquine ou petite crevette) et elle est pratiquée deux fois par mois pendant la saison sèche.

- **L'artisanat** dominé par la **vannerie**, pratiquée surtout par les femmes de tous âges dans les villages (**Photo 4**), constitue également une source de revenus (Rakotondranaivo, 2010). Elle consiste à traiter et à tisser les feuilles de « Satrana » et de Raphia pour en faire des paniers, des nattes (lamaka), des chapeaux et des corbeilles (tognotogno). Les matières premières sont prélevées à l'intérieur de la NAP même.



**Photo 3:** Pêche au filet



**Photo 4:** Confection de paniers et de nattes par une femme dans le village

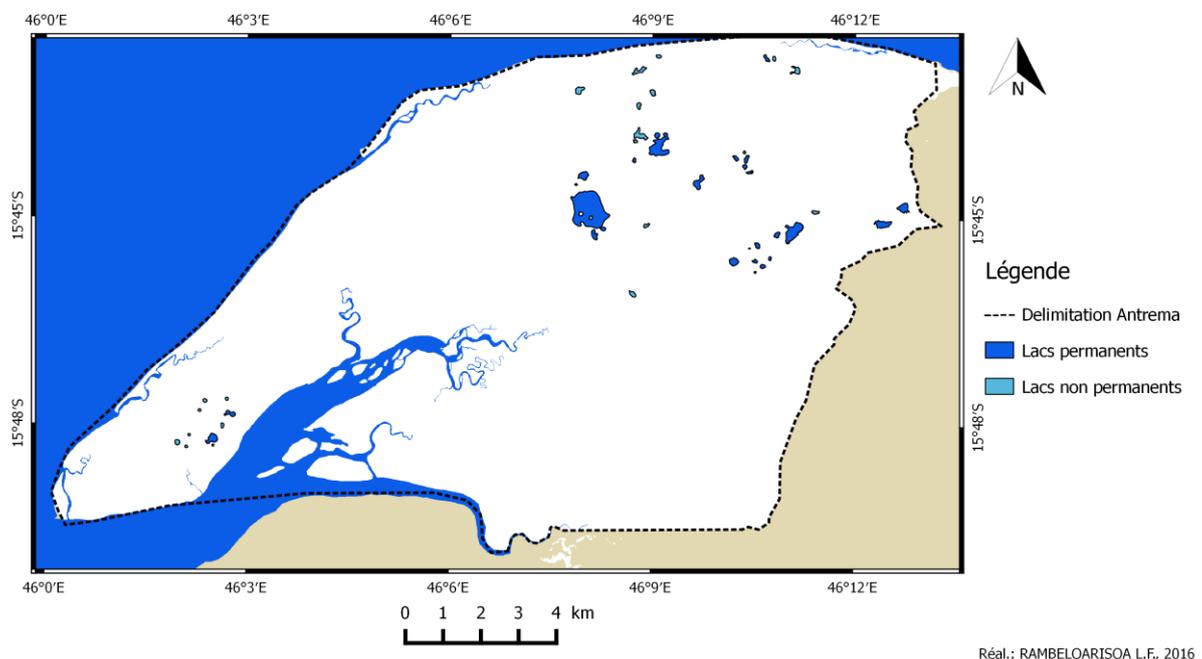
**PARTIE II :**  
**MATERIELS ET METHODES**

## I. DONNEES DE BASE UTILISEES

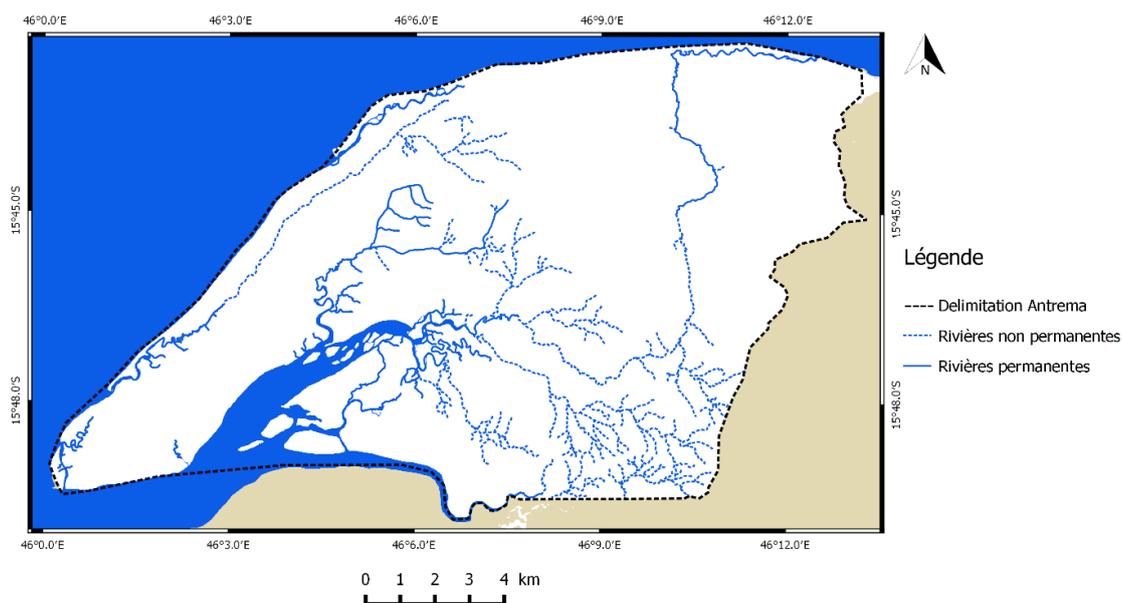
- Les cartes de couverture des terres utilisées pour cette étude sont celles qui sont élaborées par Ramihangihajason en 2015 pour les comptes de couverture des terres de la NAP Antrema de 2004 et 2014. La carte de changement de couverture des terres a été obtenue par simple soustraction des deux cartes citées ci-dessus. Elles sont toutes sous forme d'image raster et sont déjà classifiées. La nomenclature de ces cartes d'occupations des terres dérive des 15 grandes classes proposées par le Système de Comptabilité Environnementale-Economique (SCEE ou SEEA-ENCA) (Weber, 2014) mais adaptée pour Madagascar.

- Des images MODIS de 2004 et 2014 ont été utilisées pour obtenir les valeurs de l'évapotranspiration correspondant à ces deux dates. Elles ont été téléchargées sur le site du projet mondial sur l'évapotranspiration MODIS (MOD16), mis au point par le Numerical Terradynamic Simulation Group de l'Université du Montana pour la NASA (<http://www.ntsg.umt.edu/project/mod16>). Ces images sont de type MOD16A3 qui donne l'évapotranspiration annuelle de la zone d'étude.

- Des pré-cartes qui présentent tous les lacs et les rivières avec leurs localisations ont été aussi élaborées et utilisées pour faciliter les études sur terrain concernant ces deux actifs d'eau. Elles sont présentées par les **cartes 2 et 3** ci-dessous.



**Carte 2:** Localisation des lacs dans la NAP Antrema



**Carte 3:** Localisation des rivières dans la NAP Antrema.

## II. METHODES DE COLLECTE DE DONNEES

La méthodologie de collecte de données utilisée pour cette étude se divise en trois grandes étapes ; d'abord des études bibliographiques, ensuite des visites d'institutions et enfin des enquêtes.

### II.1. Etude bibliographique

D'abord, l'étude bibliographique forme la base de la recherche et constitue une balise pour bien cerner le cadre de travail. Avant de réaliser les travaux de terrain, quelques documents renfermant des acquis scientifiques et des données archivées relatives au thème traité ont été consultés, parmi lesquels :

- des ouvrages généraux qui traitent des eaux, de la biodiversité et de la comptabilité écosystémique;
- des documents sur les études antérieures de la faune, flore et végétation de la NAP Antrema.

En outre, l'étude bibliographique constitue la base fondamentale de cette étude. Les études déjà réalisées dans le site comme les mémoires de Licence, de DEA, de Master, des thèses ont été consultées afin de regrouper les données qui sont nécessaires et utiles à la réalisation des comptes. Cette phase a permis d'avoir une vision générale sur les données déjà disponibles depuis la création du site jusqu'à maintenant.

Ces données concernent surtout :

- les données sur les eaux ;
- les données sur la faune ;
- les données sur la flore ;

- les données sur le paysage.

Les données obtenues sont regroupées et vérifiées sur le terrain afin d'avoir des informations à jour.

## **II.2. Visite d'institutions**

Certaines données et méthodes ont été aussi recueillies auprès de diverses institutions.

### **❖ Le service de la météorologie d'Antananarivo à Ampandrianomby**

Les données sur la précipitation, la température et l'évapotranspiration de la NAP Antrema ont été recueillies auprès cette institution. Elles constituent les données de base pour l'élaboration du compte de l'eau.

### **❖ Le service d'hydrologie et la direction du génie rurale à Nanisana**

Puisqu'on n'a pas fait des études hydrologiques détaillées pendant les parcours académiques, on a du recueillir des données et méthodes sur les bassins versants, les barrages et les rivières dans ces institutions. Ces méthodes se rapportent sur le calcul de volume des rivières, sur le calcul de volume d'eau souterraine, sur la mesure de débit des rivières, etc...

### **❖ Le ministère de l'Eau, de l'Assainissement et de l'Hygiène à Ambohitovo**

Certains documents contenant des données et des méthodes utiles à la réalisation des comptes ont été aussi recueillis auprès de cette institution.

### **❖ Le Fokontany Antrema**

La statistique de la population a été obtenue dans cette institution. Elle constitue aussi une des principales données de base sur l'élaboration des comptes.

### **❖ L'association des pêcheurs à Antrema**

Les données sur les collectes et exportations de poissons ont été obtenues auprès de cette association. Elles sont nécessaires pour connaître les sorties et entrées d'eau dans la NAP par le biais de la glace contenue dans les exportations de poissons.

## **II.3. Enquêtes**

Des enquêtes ethnobotaniques et ethno-biologiques sur les filières, sur la socio-économie et les aspects socioculturels (utilisation des plantes, des terres, de la mer, des lacs) ont été effectuées également pour compléter les informations sur les ressources.

Deux types d'enquête ont été réalisés (**Fiches d'enquête en annexes 1, 2 et 3**) :

- Entretien individuel : pour les autorités locales afin d'avoir leurs opinions et visions personnelles ;
- « Focus group » : avec les groupes de personnes comme les membres des ménages, les groupes de femmes et de jeunes. Ce type d'entretien est nécessaire pour compléter les informations obtenues lors des entretiens individuels.

Ces enquêtes ont été combinées avec l'observation directe participative qui consiste à étudier la communauté pendant une longue période et participer volontairement à leur vie active quotidienne.

Les principales données collectées lors des enquêtes concernent :

- l'utilisation des eaux (lacs, rivières...);
- les lacs (profondeur en saison sèche ou humide, profondeur en 2004 et en 2014);
- les prélèvements d'eau (sur les lacs, rivières, eau souterraine et eau de pluie);
- l'importation et l'exportation dans la NAP;
- l'utilisation de la mer;
- l'utilisation des plantes;
- l'utilisation des terres.

### III. METHODES DE CALCUL DES COMPTES

#### III.1. Comptes de l'eau écosystémique

##### III.1.1. Bilan de base

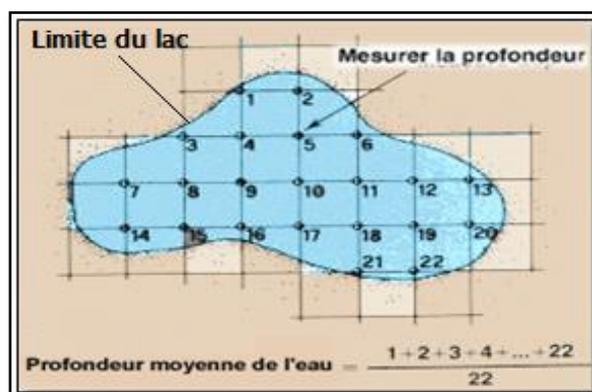
###### ➤ Stock des lacs

Le compte « eaux des lacs » est constitué par le volume d'eau contenu dans les lacs de la zone d'étude. Ce volume est donné par la formule suivante :

$$\text{VOLUME (m}^3\text{)} = \text{SUPERFICIE (m}^2\text{)} \times \text{PROFONDEUR MOYENNE (m)}$$

Deux cas sont considérés :

- Pour les lacs peu profonds, des points de mesure de profondeur (en mètre), choisis au hasard, ont été sélectionnés (**Figure 3**). La moyenne des valeurs obtenues constitue la profondeur moyenne du lac.



**Figure 3:** Dispositif de mesure de la profondeur moyenne d'un lac

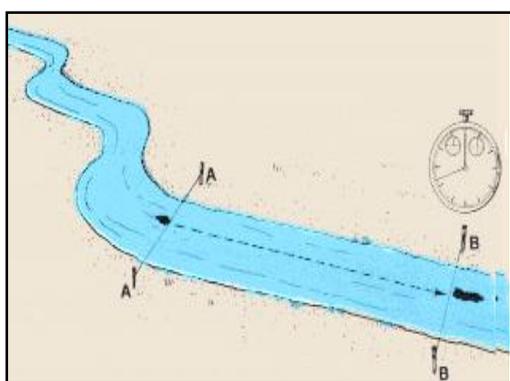
- Pour les lacs profonds, la méthode d'enquête auprès de la population locale aux alentours de chaque lac a été utilisée pour connaître cette profondeur moyenne.

La superficie des lacs a été obtenue à partir de la carte des lacs par la méthode de système d'information géographique (SIG).

### ➤ Stock des rivières

Puisque la NAP Antrema ne possède pas des bases de données sur le débit des rivières, il a été nécessaire de faire des mesures sur terrain afin de calculer le stock d'eau de ces rivières. La méthode utilisée pour cela est la technique du flotteur lesté, disponible sur le site internet <http://www.risques.météo.edu>. Le principe se déroule en deux étapes dont le premier consiste à mesurer la vitesse moyenne du courant et le second à mesurer la surface mouillée de la rivière qui est définie comme la section du cours d'eau prise perpendiculairement à l'écoulement.

#### ❖ Mesure de la vitesse moyenne du courant



**Figure 4:** Dispositif de mesure de la vitesse du courant

Choisir une section de jaugeage où les filets d'eau sont parallèles entre eux (**Figure 4**). Pour cela, enlever tous les obstacles (cailloux, branches) compris dans la zone d'étude qui modifient localement l'écoulement du cours d'eau. Puis, prendre une bouteille remplie d'eau comme flotteur. Définir un point de départ (A) et un point d'arrivée (B). Mesurer la distance entre ces 2 points puis la noter D (en mètres).

Mettre le flotteur dans l'eau, le plus au centre possible, et mesurer le temps qu'il met pour arriver jusqu'au point B. Enfin, calculer la vitesse moyenne du courant d'après la formule suivante:

$$V = D / t$$

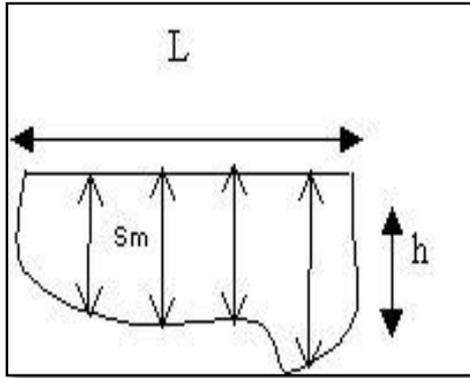
avec : V : vitesse moyenne en m/s ;

D : distance entre les 2 points en mètres ;

t : temps en secondes.

#### ❖ Mesure de la surface mouillée

Afin de connaître la morphologie du fond du cours d'eau au niveau de la zone d'étude (section de jaugeage) dans le but de calculer sa surface mouillée, il est nécessaire de faire des relevés de la hauteur d'eau de la section de jaugeage. Le principe est le suivant :



**Figure 5:** Dispositif de mesure de la surface mouillée

Mesurer la distance entre les berges (L en mètres). Faire des relevés de hauteur d'eau (h en centimètres) à l'aide d'un bâton gradué que l'on place au fond du cours d'eau. Faire plusieurs mesures dans la largeur du cours d'eau à intervalles réguliers, perpendiculairement aux berges (**Figure 5**). Sur une feuille de papier millimétré, reporter les valeurs de h et modéliser le profil de la section. Calculer la surface mouillée (Sm) en faisant la somme de la surface de chaque quadrillage en m<sup>2</sup>.

❖ **Calcul du débit moyen du cours d'eau**

Le débit de la rivière est obtenu selon la formule suivante:

$$Q = V \times S_m$$

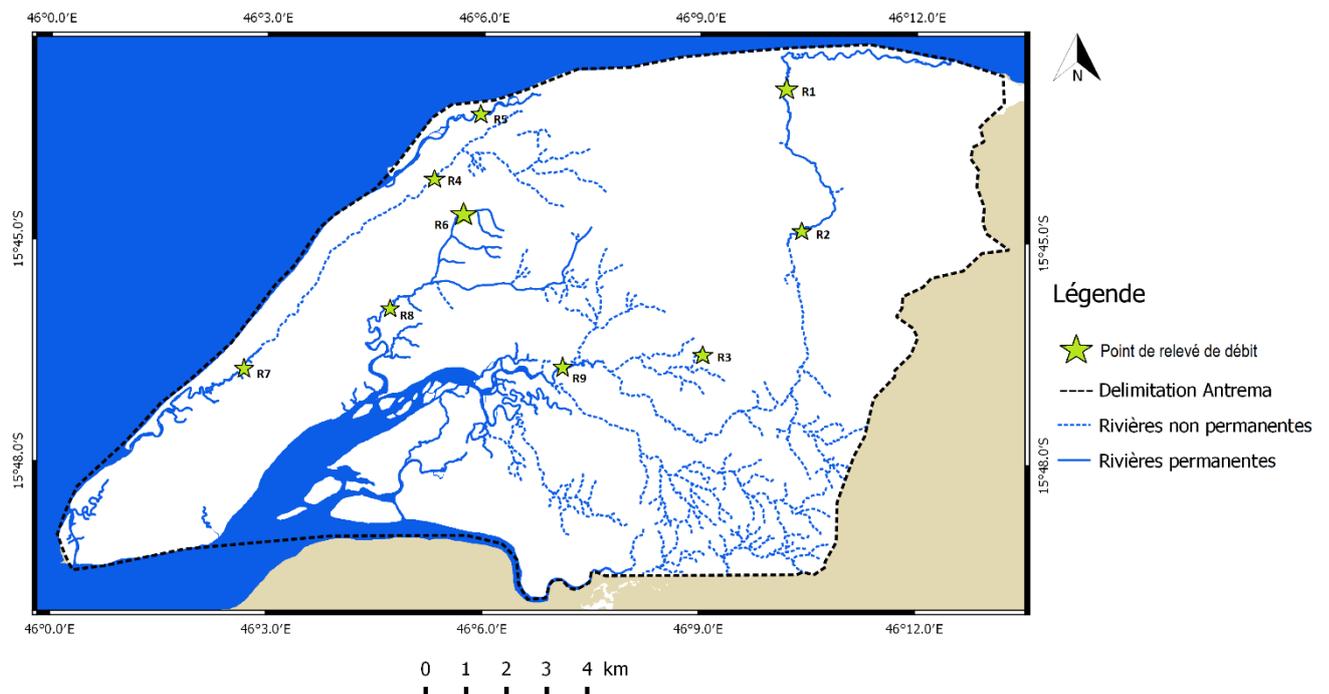
avec : Q : débit en m<sup>3</sup>/s ;

V : vitesse moyenne du courant en m/s ;

S<sub>m</sub> : surface mouillée de la section d'étude en m<sup>2</sup>.

Il faut juste ramener le débit en m<sup>3</sup>/s en m<sup>3</sup>/an pour avoir le stock d'eau annuel dans une rivière.

Les points de relevés de débit dans la zone d'étude sont présentés dans la **carte 4** suivante.



Réal.: RAMBELOARISOA L.F, 2016

**Carte 4:** Emplacement des relevés de débit

### ➤ Stock d'eau souterraine

Les données utilisées pour le calcul du volume d'eau souterraine proviennent du ministère de l'eau. La NAP Antrema est constituée par des Nappes d'alluvions possédant les caractéristiques suivantes (Rafaralahy, 2012):

Lithologie : sables argileux ; type de porosité : poreux ; type de nappe : libre ; niveau statique : 2-3 m ; profondeur d'ouvrage : jusqu'à 20 m ; épaisseur d'aquifère : 5 à 10 m ; qualité de l'eau : eau douce, bicarbonatée calcique ; débit spécifique : 1 à 5 litres / seconde / mètre.

Le débit spécifique moyen annuel de la nappe souterraine est la donnée de base utilisée pour calculer son volume. La méthode de calcul est présentée par la formule suivante :

$$V = Q_s \times S \times T$$

Avec  $V$  : volume d'eau souterraine ( $m^3$ ) ;

$Q_s$  : débit spécifique ( $l/s/m$ ) ;

$S$  : surface de la NAP Antrema ( $m^2$ ) ;

$T$  : temps en s,  $T = 3600 \times 24 \times 365$ s pour une année.

### ➤ Précipitations

Les précipitations sont représentées par le volume des précipitations atmosphériques humides (pluie, neige, etc.) sur le territoire de référence pendant la période comptable considérée mais avant qu'il n'y ait évapotranspiration (SCEE-Eau). Elles tombent sur les actifs d'eaux qui sont les lacs et réservoirs, les rivières et cours d'eau, l'eau souterraine et le sol. La majeure partie des précipitations qui tombent sur ce dernier sont comptabilisées dans la colonne eau du sol et végétation dans le tableau des comptes. Les données sur la précipitation proviennent du service de la météorologie. La précipitation moyenne annuelle a été utilisée pour cette étude. Pour cela, la valeur en millimètre (mm) a été convertie en  $m^3$  selon la formule  $1\text{mm} = 10^{-3} m^3/m^2$ . Le volume de précipitation sur un actif d'eau (**Vpa**) a été obtenu par la multiplication de la superficie en  $m^2$  de cet actif (**Sa**) par  $10^{-3} m^3$ .

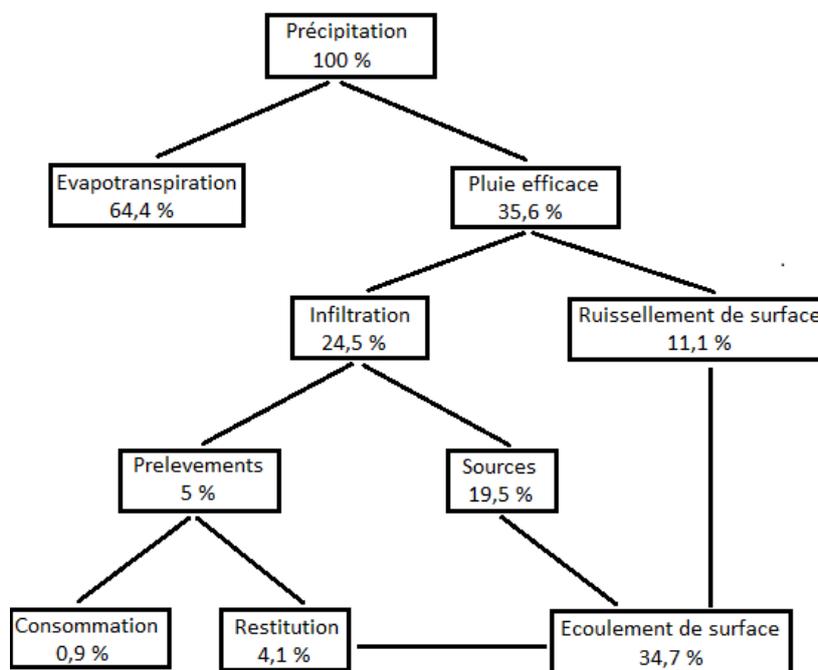
$$V_{pa} (m^3) = S_a (m^2) \times 10^{-3} m^3/m^2$$

### ➤ Entrée d'eau interne spontanée

L'entrée d'eau interne spontanée est le flux d'eau échangé entre les masses d'eau à l'intérieur d'un bassin hydrographique. Elle est composée de l'infiltration et du ruissellement de surface. Puisque Madagascar ne possède pas de données sur les infiltrations et le ruissellement de surface, le modèle de Postel en 1996 commun pour les régions d'Afrique présenté dans la **figure 6** ci-dessous a été utilisé pour les estimer :

- le ruissellement de surface vers les rivières est la partie de la pluie efficace qui s'écoule à la surface du sol, et ne s'évapore ni s'infiltré dans le sous-sol. Il est estimé à 11,1 % de la précipitation.

- l'infiltration/percolation des eaux de surface vers les nappes phréatiques est la partie de la pluie efficace qui s'infiltré dans le sous-sol. Elle est estimée à 24,5 % de la précipitation.



**Figure 6:** Bilan de l'écoulement des eaux souterraines pour le continent Afrique (Postel et *al.*, 1996)

### ➤ Apports naturels provenant des territoires en amont

Les entrées d'eau en provenance d'autres territoires sont celles qui se produisent lorsque des ressources en eau sont partagées. Par exemple, lorsqu'un cours d'eau pénètre dans le territoire de référence, les entrées sont constituées par le volume total de l'eau qui s'écoule dans le territoire à son point d'entrée pendant la période comptable en question. Les apports naturels sont les fleuves et rivières, et les territoires en amont sont les régions voisines. Ces apports ont été calculés selon la formule :

$$V = Q \times T$$

Avec V: volume des apports naturels provenant des territoires en amont en m<sup>3</sup> ;

Q : débit moyen annuel au point d'entrée du fleuve ou rivière en m<sup>3</sup>/s ;

T : temps en s, T= 3600\*24\*365s pour une année.

➤ **Apports artificiels d'eau depuis d'autres territoires et depuis la mer**

Les entrées d'eau en provenance d'autres ressources comprennent les transferts, aussi bien naturels qu'artificiels, entre les ressources du territoire. Ces transferts sont composés, par exemple, des flux dus à l'infiltration, l'eau transportée par des conduites ou des canaux de détournement de l'eau ainsi que les prélèvements d'eau de mer. Les apports naturels et artificiels annuels dans la NAP ont été obtenus par des enquêtes auprès de la population locale.

➤ **Retours ou rejets d'eaux usées et autres retours d'eau vers les eaux intérieures**

Ces catégories de comptes appelées aussi « restitutions » ou « type d'eau rejetée » représentent le volume total de l'eau qui est retourné de l'économie aux eaux de surface et aux eaux souterraines pendant la période comptable considérée. Ce sont par exemple des eaux d'irrigation, des pertes d'eau lors du transport et du stockage, des eaux usées traitées et des eaux usées non traitées. Elles ont été obtenues par des enquêtes auprès de la population locale.

➤ **Total des apports et retours d'eau**

Le total des apports et retours d'eau (augmentation des stocks) est la somme des apports d'eau naturels et artificiels, primaires et secondaires. Dans le tableau comptable, ce sont les précipitations, les apports naturels provenant de territoires en amont, les apports artificiels d'eau depuis d'autres territoires et depuis la mer, le rejet des eaux usées dans les eaux intérieures et les autres retours d'eau vers les eaux intérieures.

➤ **Evapotranspiration**

L'évapotranspiration est le volume d'eau qui est envoyé vers l'atmosphère résultant de l'évaporation à la surface du sol et de la transpiration des plantes. Les images MODIS MOD16A3 de résolution de 1 km<sup>2</sup> délivrées par la NASA pour les dates 2004 et 2014 ont été utilisées dans cette étude pour avoir l'évapotranspiration annuelle de la NAP Antrema correspondant à ces deux dates. La méthode de calcul pour avoir son volume par entité de couverture des terres est donné par la formule:

$$V_{Etp} = S \times ET \times 0,1 \text{ (Mu et al., 2011)}$$

Avec  $V_{Etp}$  : volume de l'évapotranspiration en m<sup>3</sup> ;

S: superficie d'une entité de couverture des terres m<sup>2</sup> ;

ET : évapotranspiration réelle de la même entité de couverture des terres en mm. Avant le calcul, la valeur en mm a été d'abord convertie en m<sup>3</sup> (1mm=10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>).

➤ **Sorties d'eau interne spontanée**

La sortie d'eau interne spontanée a la même composante que l'entrée d'eau interne spontanée et la méthode de calcul est aussi la même (Cf. entrée d'eau interne spontanée).

➤ **Prélèvement dans la masse d'eau**

Le prélèvement dans la masse d'eau correspond au volume d'eau qui est soustrait directement de l'environnement par des unités économiques. Dans la NAP Antrema, ces prélèvements correspondent aux :

- prélèvements pour compte propre dans l'agriculture (y compris l'irrigation);
- prélèvements pour compte propre des municipalités et des ménages.

Ils ont été obtenus par des enquêtes au niveau de la population locale de la zone d'étude. Le détail de la méthode d'enquête se trouve dans la méthode de collecte de données précédente.

➤ **Collecte des eaux de pluie**

Ce sont les pluies collectées par les ménages pour des utilisations quelconques. Elles ont été obtenues par des enquêtes auprès de la population locale.

➤ **Evapotranspiration réelle induite par l'irrigation**

Evapotranspiration réelle induite par l'irrigation est la perte d'eau par évaporation des irrigations. Après avoir comparé plusieurs données et études de la FAO Aquastat, elle a été estimée à 5 % de l'eau d'irrigation.

➤ **Écoulement artificiel des eaux vers d'autres territoires et dans la mer**

L'écoulement artificiel des eaux vers d'autres territoires et dans la mer inclut le rejet d'eaux usées non traitées dans la mer par les égouts municipaux et/ou par les industries. Les autres écoulements se composent des eaux usées traitées rejetées dans la mer et de l'eau transportée d'un bassin à un autre via des conduites et des canaux. Seuls les rejets d'eau dans la mer par la population locale se rencontrent dans la NAP, ils ont été obtenus par des enquêtes auprès de ces populations.

➤ **Total des sorties d'eau**

Le total des sorties d'eau constitue la diminution des stocks. Il a été obtenu par la formule :

<b>Total des sorties d'eau</b> = prélèvements dans les masses d'eau + prélèvements des eaux de pluie + évapotranspiration réelle induite par l'irrigation + écoulement artificiel des eaux vers d'autres territoires et dans la mer
---

➤ **Pluie efficace disponible**

La pluie efficace est les ressources en eau théoriques qui alimentent les eaux de ruissellement des rivières (et des plans d'eau connexes) et qui réalimentent les nappes aquifères. Elle est calculée selon la formule suivante :

Pluie efficace disponible = précipitation - évapotranspiration spontanée réelle
---

### ➤ Accumulation nette d'eau écosystémique

L'accumulation nette d'eau écosystémique (ANEE) est la différence entre les augmentations et les diminutions des stocks.

$$\text{ANEE} = \text{augmentations des stocks} - \text{diminutions des stocks}$$

### ➤ Stock de clôture

Le stock de clôture est obtenu par la somme du stock d'ouverture et l'accumulation nette d'eau écosystémique (ANEE).

$$\text{Stock de clôture} = \text{stock d'ouverture} + \text{ANEE}$$

## III.1.2. Indice d'intensité d'utilisation et de sante écosystémique

### III.1.2.1. Intensité d'utilisation

L'intensité soutenable de l'utilisation des ressources en eau écosystémique a été obtenue par la formule suivante :

$$\text{Intensité d'utilisation (IU)} = [\text{ENEAE}] / [\text{UTEE}]$$

Avec : ENEAE : Excédent net d'eau accessible dans l'écosystème

UTEE : Utilisation totale de la ressource en eau écosystémique

Principe : Si  $IU < 1$  : il y a une surconsommation, épuisement, stress ou dégradation sur la ressource ;

Si  $IU \geq 1$  : il y a une accumulation de la ressource de base accessible.

### III.1.2.2. Indice du changement de l'état de santé de l'eau

Le changement de l'état de santé de l'eau écosystémique n'a pu être élaboré que pour la période de 2014 à cause du manque de données pour la période de 2004. Cet indice a été défini selon la méthode de système d'évaluation de la qualité de l'eau (SEQ-Eau) présentée par le **tableau 1** suivant. Trois critères de qualité ont été retenus suivant la disponibilité des données. Ce sont l'oxygène dissous en mg/l, le pH et la turbidité en NTU (Rakotondrasata, 2014).

**Tableau 1:** Indice de qualité d'aptitude à la biologie de l'eau (MEDD et AE, 2003)

Qualité	Très bonne	Bonne	Passable	Mauvaise	Très mauvaise
Classe	Bleu	Vert	Jaune	Orange	Rouge
Indice	[100 - 80]	[79 - 60]	[59 - 40]	[39 - 20]	20>
Oxygène dissous (mg/l)	>8	[7,9 - 6]	[5,9 - 4]	[3,9 - 3]	3>
pH	<8	[8 - 8,5]	[8,5 - 9]	[9 - 9,5]	9,5<
Turbidité (NTU)	<15	[15 - 35]	[35 - 70]	[70 - 100]	100<

Ces trois indices de qualité ont été calculés pour la période de 2014 en ouverture et en clôture. L'indice de changement a été obtenu par le ratio **[qualité ouverture] / [qualité clôture]**.

## III.2. Comptes fonctionnels de l'infrastructure écosystémique

### III.2.1. Unité paysagère socio-écologique (UPSE)

Les types de couverture des terres dominantes et les limites des sous-bassins fluviaux ont été utilisés pour définir les unités paysagères socio-écologiques (UPSE). Sur le logiciel ENVI, la couverture des terres dominante a été compilée dans une grille de 1 ha, en utilisant le critère de >50% c'est-à-dire que les classes qui sont >50% ont été jugées dominantes. Cette phase a permis de voir toutes les classes de couverture des terres dominantes. Ensuite, on a combiné manuellement les sous-classes qui les composent pour avoir les UPSE. Les combinaisons sont présentées par les formules suivantes:

- forêt : forêt dense sèche + forêt dégradée ;
- mangrove : mangrove intacte + mangrove dégradée ;
- prairie : savanes ;
- zones humides : lacs + eau temporaire + raphiales + estuaire ;
- autres couvertures des terres : sols nus + village + cultures + tanne.

Les limites des sous bassins fluviaux ont été ajoutées juste après cette étape.

### III.2.2. Stocks des rivières

Les stocks et les changements des rivières ont été calculés en unités standard de mesure des rivières (USMR) pour pouvoir être combinés avec les valeurs de couverture des terres en hectare (ha). En effet, une conversion d'unité a été nécessaire pour la comptabilité.

La valeur en USMR d'un tronçon de rivière avec une longueur (L) et un débit (Q) correspond à L multiplié par Q, soit :

$$\boxed{\text{USMR} = L \text{ (km)} \times Q \text{ (m}^3\text{/s)}} \longleftrightarrow \boxed{1 \text{ USMR} = 1 \text{ km} \times 1 \text{ m}^3\text{/s}}$$

### III.2.3. Potentiels écosystémiques accessibles

#### III.2.3.1. Stocks des potentiels écosystémiques nets du paysage (PENP)

Le stock de potentiel écosystémique des paysages correspond à la somme des valeurs de couverture des terres pondérées en hectare. La pondération est faite en combinant plusieurs indices composites dont la « verdure » ou indice de fond de paysage vert qui fait référence au caractère moins artificiel, la valeur de conservation qui prend en compte des zones désignées (plus ou moins vertes) présentant un intérêt écologique reconnu, la fragmentation par des éléments artificiels qui réduit les échanges entre les écosystèmes, et les écotones qui sont particulièrement favorables à la biodiversité.

➤ **L'indice de fond du paysage vert (IFPV)** 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. Cet indice a été obtenu en attribuant une 'note' à chaque entité de couverture des terres. Pour cela, quatre critères ont été utilisés dont le degré d'artificialisation de l'entité, sa richesse en biodiversité, ses fonctions écologiques et sa santé ou son état. Pour chacun de ces critères, la note attribuée varie de 1 à 5 correspondant respectivement à très faible, faible, moyen, élevé et très élevé. Après évaluation des notes, des cartes d'IFPV ont été faites correspondant aux dates 2004 et 2014.

➤ **L'indice de haute valeur naturelle (IHVN)** a pour but de nuancer l'image donnée par l'IFPV. Il a aussi pour but d'avoir une indication de la valeur de conservation naturelle de la zone concernée. Puisque Antrema est déjà une aire protégée, cet indice a été obtenu en attribuant une 'note' à chaque entité de couverture de terre. Quatre critères ont été retenus dont la perception du paysage, la qualité du biotope, la diversité du milieu (faune et flore) et la conservation des éléments historico-culturels. Les notes attribuées pour chaque critère varient de 1 à 4 (**Tableau 2**).

**Tableau 2:** Evaluation des paramètres d'indice de haute valeur naturelle (Stuber, 2008)

Perception du paysage	Qualité du biotope	Diversité du milieu (faune et flore)	Conservation des éléments historico-culturels
1 – banal	1 – Biotope reconnaissable, mais mal développé ;	1 – 1 à 2 espèces rares et protégées	1 – à peine conservé
2 – intéressant	2 – Biotope partiellement développé, mais sans intérêt particulier	2 – 3 à 4 espèces rares et protégées	2 – partiellement conservé
3 – remarquable	3 – Biotope bien développé, intéressant ;	3 – 5 à 6 espèces rares et protégées	3 – bien conservé
4 – unique, exemplaire	4 – Biotope tout à fait remarquable, exemplaire.	4 – plus de 7 espèces rares et protégées	4 – parfaitement conservé

Une évaluation par paire des critères pour l'IFPV et IHVN par la méthode AHP (Analytic Hierarchical Process) (Eastman, 1993) a été effectuée afin de pondérer chaque critère. Les notes par critère sont évaluées selon les dires d'experts suivant leurs connaissances du terrain et sont ramenées à 100. Des cartes d'indice de haute valeur naturelle de 2004 et 2014 ont été faites après ces évaluations.

➤ La fragmentation par des éléments artificiels est une dimension importante de l'intégrité du paysage. **L'indice de fragmentation du paysage** permet de corriger l'image donnée par les indices de fond de paysage vert et de haute valeur naturelle en prenant en compte les effets de barrière qui limitent les échanges entre les écosystèmes. Puisque Antrema est une aire protégée de petite taille qui se trouve dans une zone rurale, les grandes routes, les autoroutes et les chemins de fer ainsi que les zones urbaines assez importantes y sont inexistantes. Donc, cet

indice a été déterminé selon les avis des experts scientifiques et selon leur connaissance du terrain. Il a été obtenu en attribuant une 'note' à chaque entité d'occupation des terres :

- 1 = très fragmentée ;
- 2 = fragmentée ;
- 3 = plus ou moins fragmentée ;
- 4 = plus ou moins intacte ;
- 5 = intacte.

Les notes ont été ramenées à 100 après évaluation et des cartes d'indice de fragmentation en 2004 et 2014 ont été élaborées.

➤ Afin d'améliorer et compléter l'indice de PENP, un **indice d'écotones verts** a été calculé. Un écotone est une zone de transition entre deux écosystèmes différents, par exemple entre une forêt et une prairie. Dans l'écologie du paysage, un écotone désigne la zone frontalière entre deux parcelles ayant une composition écologique différente. Pour cela, une classification des écotones (**Tableau 3**) en fonction des catégories de couverture des terres dans la NAP Antrema a été dressée.

**Tableau 3:** Classification des écotones en fonction des catégories de couverture des terres

classe d'écotones		Village	Cultures	Savane	Raphiale	Lac/rivière	Forêt	sol nu	Mangrove	Tanne	Estuaire
		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
Village	a	a*a	a*b	a*c	a*de		a*f	a*g	a*ghi		
Culture	b		b*b	b*c	b*de		b*f	bc*g	b*hi		b*j
Savane	c			cd*cd		c*e	c*f		c*hi		c*j
Raphiale	d					d*e			de*hi		ef*j
Lac/rivière	e					e*e	de*f	de*g			
Forêt	f						f*f	f*ghi			f*j
sol nu	g							g*ghi			g*i
Mangrove	h								hi*hi		h*j
Tanne	i										i*j
Estuaire	j										j*j

Dans ce tableau semi-agrégé, 34 écotones ont été définis en tant que lisières entre catégories ou groupes de catégories de couverture des terres dans la NAP Antrema. Par exemple, la cellule « c\*f » désigne les écotones situés entre des savanes et des forêts.

Les notes attribuées aux catégories d'écotones sont présentées dans le **tableau 4** suivant :

**Tableau 4:** Note attribuée pour l'indice d'écotones verts

INDICE D'ECOTONES VERTS	
Village*Village	1
Agriculture*Village	10
Nature*Village	50
Agriculture*Agriculture	75
Nature*Agriculture	100
Nature*Nature	100

Des cartes d'écotones verts ont été faites pour les années 2004 et 2014 après l'attribution de ces notes.

Après évaluation de ces quatre indices, des cartes de potentiel écosystémique accessible par date (2004 et 2014) ont été élaborées.

Les cartes d'indice de fond de paysage vert, de haute valeur naturelle, de fragmentation, d'écotones verts et de potentiel écosystémique accessible ont été filtrées avec le logiciel IDRISI par la méthode de Gauss (filtre  $5 \times 5$ ) afin de refléter les effets de bordure des écotones avant d'être cartographiées.

### III.2.2.2. Potentiels écosystémiques nets des rivières

Le potentiel écosystémique net des rivières (PENR) mesure la contribution des rivières au potentiel de l'infrastructure écosystémique accessible. Il a été calculé en pondérant le stock des rivières en unité standard de mesure des rivières (USMR) avec un indice composé de la même manière que le PENP dont l'indice de fond des écosystèmes-rivières, l'indice de haute valeur naturelle des rivières, l'indice de fragmentation des rivières et l'écotones des rivières.

➤ **L'indice de fond des écosystèmes-rivières (IFER)** tient compte de la variabilité du débit des rivières. Il correspond au nombre de jours où le débit est  $> 90$  % de la moyenne à long terme. L'estimation a été faite à partir des données utilisées pour l'évaluation de l'accessibilité à l'eau dans les comptes de la ressource écosystémique en eau et les notes attribuées varient de 1 à 5 correspondant respectivement à  $<3$  mois, [3;4] mois, [4;5] mois, [5;6] mois et  $> 6$  mois. Après l'évaluation, les notes ont été ramenées à 100.

➤ **L'indice de haute valeur naturelle des rivières (IHVNR)** a été défini comme celui de l'indice de haute valeur naturelle des paysages. Des lignes supplémentaires notées « cours d'eau principal » et « cours d'eau moyen » ont été ajoutées seulement dans les catégories de couverture des terres lors de la détermination des notes de l'IHVN du paysage.

➤ La fragmentation des rivières peut être due aux grands ou petits barrages et à la présence de villes et d'autres éléments artificiels sur leur parcours. **L'indice de fragmentation des rivières** a été calculé en nombre d'obstacles dans les bassins versants par hectare. L'indice a été multiplié par le stock exprimé en USMR. Les notes attribuées varient de 1 à 5 correspondant respectivement à supérieur à 8 obstacles, 6 à 8 obstacles, 4 à 6 obstacles, 2 à 4 obstacles et inférieur à 2 obstacles.

➤ **Les écotones des rivières** ont été évalués avec la méthodologie générale utilisée pour les écotones. Le principe est de superposer la carte détaillée des rivières à celle de la couverture des terres. La définition et la notation des types d'écotones pour le calcul de l'indice d'écotones

verts des rivières sont les mêmes que l'indice d'écotones verts du paysage et les rivières figurent dans le groupe « nature » de la table de notation (**Tableau 3** précédent).

### **III.2.3. Intensité d'utilisation et de santé écosystémique**

L'indice d'intensité d'utilisation et de santé écosystémique combine le PTIE avec un diagnostic de santé des écosystèmes basé principalement sur des indicateurs de biodiversité.

#### **III.2.3.1 Intensité d'utilisation**

Le changement de l'intensité d'utilisation de l'infrastructure écosystémique a été calculé selon la formule suivante :

$$\text{Intensité d'utilisation (IU)} = \text{PTIE2} / \text{PTIE1}$$

Avec : PTIE2 : Potentiel total de l'infrastructure écosystémique final ;

PTIE1 : Potentiel total de l'infrastructure écosystémique ouverture.

Si  $IU < 1$  : il y a changement, stress ou dégradation sur la ressource de base accessible ;

Si  $IU > 1$  : il y a accumulation de la ressource de base accessible.

#### **III.2.3.2. Indice de changement de l'état de santé de l'écosystème**

Six indicateurs ont été retenus pour évaluer l'état de santé de l'écosystème. Ce sont l'indice de spécialisation des espèces, l'état de santé de biotope, l'état de santé des rivières, les modifications de la richesse spécifique, de la diversité des espèces menacées et de la diversité des espèces endémiques.

➤ L'indice de spécialisation des espèces a été attribué suivant le taux de cette spécialisation dans la zone d'étude. Pour cela, une note de 1 à 5 a été définie correspondant respectivement à <20%, 20 à 30 %, 30 à 40 %, 40 à 50% et >50%. Cette note a été attribuée séparément pour les 2 dates (2004 et 2014). La modification de l'indice de spécialisation a été obtenue par le ratio **[l'indice de spécialisation en 2014] / [l'indice de spécialisation en 2004]**. Cet indice est l'indication de la capacité de récupération, qui :

- Reste correcte si elle est supérieure à 1 ;
- Commence à diminuer si en dessous de 1 ;
- Sérieusement compromise si inférieure à 0,2.

➤ L'état de santé de biotope a été défini séparément pour les deux dates (2004 et 2014) en attribuant une note à chaque entité de couverture des terres. Ces notes varient de 1 à 5 correspondant respectivement à très mauvaise, mauvaise, moyenne, bonne et très bonne. Elles ont été attribuées par des experts scientifiques selon leur connaissance du terrain. La

modification de l'état de santé de biotope est obtenue par le ratio **[état de santé en 2014] / [état de santé en 2004]**. Si l'indice est :

- <1 : la santé se dégrade ;
- =1 : la santé reste stable ;
- >1 : la santé s'améliore.

➤ La procédure utilisée pour déterminer la modification de l'état de santé des rivières est la même que celle de la modification de l'état de santé de biotope.

➤ La modification de la richesse spécifique est obtenue par le ratio **[Richesse spécifique en 2014] / [Richesse spécifique en 2004]**. Si cet indice de modification est :

- <1 : il y a diminution de la richesse spécifique ;
- =1 : la richesse spécifique reste stable ;
- >1 : il y a augmentation de la richesse spécifique.

➤ La modification de la diversité des espèces menacées est indiquée par le ratio **[nombre d'espèces menacées en 2014] / [nombre d'espèces menacées en 2004]**. Si cet indice est :

- <1 : il y a diminution du nombre des espèces menacées ;
- =1 : le nombre des espèces menacées reste stable ;
- >1 : il y a augmentation du nombre des espèces menacées.

➤ La modification de la diversité des espèces endémiques est indiquée par le ratio **[nombre d'espèces endémiques en 2014] / [nombre d'espèces endémiques en 2004]**. Si l'indice est :

- <1 : il y a diminution du nombre des espèces endémiques ;
- =1 : le nombre des espèces endémiques reste stable ;
- >1 : il y a augmentation du nombre des espèces endémiques.

La combinaison de ces 6 indices de santé donne une vue générale de l'état de santé des écosystèmes dans la NAP Antrema pendant la période 2004 à 2014. Si cette combinaison est :

- <1 : la santé des écosystèmes se dégrade (diminution);
- =1 : la santé des écosystèmes reste stable (stabilité);
- >1 : la santé des écosystèmes s'améliore (amélioration).

Les principales données sur la biodiversité utilisées pour l'élaboration de ces indices sont issues du rapport de diagnostic physico-éco-biologique de la NAP Antrema en 2000, 2005 et 2016.

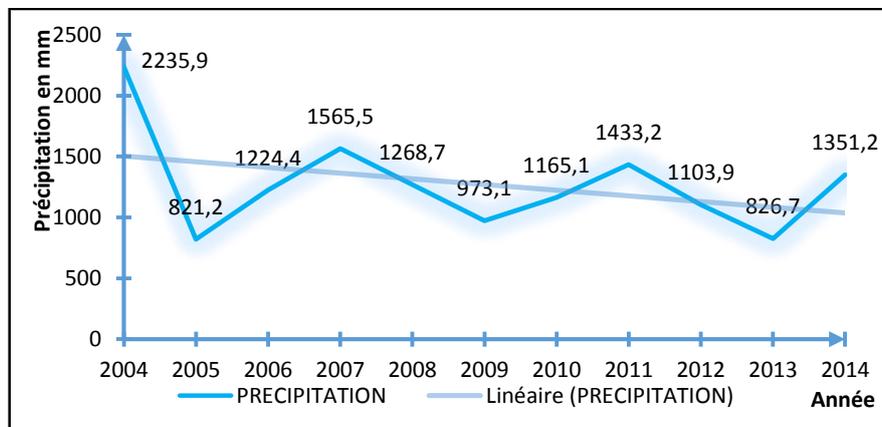
**PARTIE III :**  
**RESULTATS ET**  
**INTERPRETATIONS**

## I. COMPTE DE L'EAU ECOSYSTEMIQUE

Les résultats sur le compte de l'eau sont composés de la présentation du bilan de base de la ressource en eau, des ressources en eau accessible, des comptes de l'utilisation totale de l'eau et enfin de l'indice d'intensité d'utilisation et de santé de l'eau écosystémique.

### I.1. Bilan de base de la ressource en eau écosystémique

La précipitation en 2004 est de 2235,9 mm et celle de 2014 est de 1351,2 mm. Il y a une différence de 884,7 mm, soit une baisse de 39,5% en 10 ans. La précipitation a une tendance à diminuer de 50 mm par an soit une diminution de 500 mm en 10 ans en général (**Figure 7**). Les données sur la précipitation et la température mensuelles de la NAP Antrema depuis 2004 jusqu'en 2014 se trouvent en **annexe 4**.



**Figure 7:** Variation interannuelle de précipitations dans la NAP Antrema entre 2004 et 2014

L'étude des lacs a permis de recenser 48 lacs dans la NAP Antrema dont 24 sont permanents et 24 non permanents. Parmi les permanents, les plus importants sont le lac Sahariaka avec une superficie de 699607 m<sup>2</sup>, le lac Maro avec 164938 m<sup>2</sup> et le Matsabory Be à Masokoamena avec 143123 m<sup>2</sup>. Pour les non permanents, les plus importants sont le lac Maro non permanent avec une superficie de 49541 m<sup>2</sup>, le lac Mihena avec 32387 m<sup>2</sup> et le lac Beakapoka avec 30995 m<sup>2</sup>. La liste de tous les lacs se trouve en **annexe 5**.

La différence de niveau moyen en saison humide et saison sèche des lacs permanents est de 1,03 cm et celle des non permanents est de 1,36 cm. La différence de niveau de tous les lacs entre 2004 et 2014 est de 89 cm c'est-à-dire qu'il y a une baisse moyenne de 89 cm en 10 ans. Cette baisse est due à la diminution et à la différence de précipitations pendant ces périodes.

L'étude des rivières a fait ressortir qu'elles sont de 2 types dans la NAP Antrema, les permanentes et les non permanentes. Les plus importantes d'entre elles sont Andranomasabo, Ampampamena, Ambatolafia, et Antsoherimasiba. Le débit de chacune d'elle est présenté dans

le **tableau 5**. Ces valeurs concernent seulement celles du mois de mars à cause de la durée limitée de la descente sur terrain.

**Tableau 5:** Débit des rivières dans la NAP Antrema

Sites de relevé	Longueur (km)	Débit (m <sup>3</sup> /s)
R1 (Ambatolafia)	12,7	2,14
R2 (Ambatolafia)	-	3,92
R3 (Barrage Kapazo)	2,86	0,8
R4 (Bako NP)	10,05	2
R5 (Bako, Beantsiva)	6,02	0,52
R6 (Bako)	3,58	4,28
R7 (Andranomasabo)	7,12	5
R8 (Ampampamena)	8,01	3,75
R9 (Antsoherimasiba)	10,66	1,66

Les **tableaux 6 et 7** ci-dessous présentent respectivement le bilan de base de la ressource en eau de 2004 et 2014.

**Tableau 6:** Bilan de base de la ressource en eau écosystémique en 2004 (unité en m<sup>3</sup>)

Types d'actifs du SCEE-Eau		Lacs et réservoirs	Rivières et autres cours d'eau	Eaux souterraines	Sol et végétation	Total eaux intérieures
<b>I. Bilan de base de la ressource en eau écosystémique</b>						
<b>W1</b>	<b>Stocks d'ouverture</b>	<b>9473946</b>	<b>669801894</b>	<b>4688772480</b>		<b>5368048320</b>
W21	Précipitations	3894491	2414772		450418030	456727293
W22	Entrées d'eau internes spontanées [transferts]		28271564	254444072		282715636
W23	Apports naturels provenant de territoires en amont		488105222			488105222
W24	Apports artificiels d'eau depuis d'autres territoires et depuis la mer	191				193
W25	Retour/rejet des eaux usées dans les eaux intérieures				2605	2605
W26	Autres retours d'eau vers les eaux intérieures	8802368	59988336		190	68790893
<b>W2</b>	<b>Total des apports et retours d'eau [augmentation des stocks]</b>	<b>12697049</b>	<b>578779894</b>	<b>254444072</b>	<b>450420825</b>	<b>1296341840</b>
W31	Évapotranspiration spontanée réelle	5211716	2716554		163556820	171485090
W32	Sorties d'eau internes spontanées [transferts]		28271564	254444072		282715636
W33	Écoulements naturels vers les territoires en aval et vers la mer		239970089			239970089
W34	Prélèvements dans les masses d'eau	896356	62988718	3900		63888974
W35	Prélèvement/collecte des eaux de pluie et du ruissellement urbain					41
W36	Évapotranspiration réelle induite par l'irrigation	198953	12597544			12796497
W37	Évaporation provenant de l'industrie et d'autres utilisations					
W38	Écoulement artificiel des eaux vers d'autres territoires et dans la mer					181
W39	Autre variation du volume des stocks et ajustements (+ ou -)	14969	3779313	195		3794488
<b>W3</b>	<b>Total des sorties d'eau [diminution des stocks]</b>	<b>6321993</b>	<b>350323783</b>	<b>254448167</b>	<b>163556820</b>	<b>774650996</b>
<b>W4a</b>	<b>Pluie efficace disponible = W21-W31</b>	<b>-1317225</b>	<b>-301782</b>		<b>286861210</b>	<b>285242203</b>
<b>W4</b>	<b>Accumulation nette d'eau écosystémique [ANEE] = W2-W3</b>	<b>6375056</b>	<b>228456111</b>	<b>-4094</b>	<b>286864005</b>	<b>521690843</b>
<b>W5</b>	<b>Stocks de clôture</b>	<b>15849002</b>	<b>898258005</b>	<b>4688768386</b>	<b>286864005</b>	<b>5889739164</b>

**Tableau 7:** Bilan de base de la ressource en eau écosystémique en 2014 (unité en m<sup>3</sup>)

Types d'actifs du SCEE-Eau		Lacs et réservoirs	Rivières et autres cours d'eau	Eaux souterraines	Sol et végétation	Total eaux intérieures
<b>I. Bilan de base de la ressource en eau écosystémique</b>						
<b>W1</b>	<b>Stocks d'ouverture</b>	<b>8802321</b>	<b>608910813</b>	<b>4688772480</b>		<b>5306485614</b>
W21	Précipitations	2434727	1141764		272433133	276009624
W22	Entrées d'eau internes spontanées [transferts]		17100802	153907225		171008027
W23	Apports naturels provenant de territoires en amont		447802956			447802956
W24	Apports artificiels d'eau depuis d'autres territoires et depuis la mer	278				281
W25	Retour/rejet des eaux usées dans les eaux intérieures				3803	3803
W26	Autres retours d'eau vers les eaux intérieures	9474014	66653717		277	76128007
<b>W2</b>	<b>Total des apports et retours d'eau [augmentation des stocks]</b>	<b>11909019</b>	<b>532699239</b>	<b>153907225</b>	<b>272437212</b>	<b>970952698</b>
W31	Évapotranspiration spontanée réelle	3469391	1663459		98322973	103455823
W32	Sorties d'eau internes spontanées [transferts]		17100802	153907226		171008028
W33	Écoulements naturels vers les territoires en aval et vers la mer		230744358			230744358
W34	Prélèvements dans les masses d'eau	996274	69987677	5655		70989606
W35	Prélèvement/collecte des eaux de pluie et du ruissellement urbain					60
W36	Évapotranspiration réelle induite par l'irrigation	198953	13997271			14196224
W37	Évaporation provenant de l'industrie et d'autres utilisations					
W38	Écoulement artificiel des eaux vers d'autres territoires et dans la mer					264
W39	Autre variation du volume des stocks et ajustements (+ ou -)	59056	4199247	283		4258603
<b>W3</b>	<b>Total des sorties d'eau [diminution des stocks]</b>	<b>4723673</b>	<b>337692815</b>	<b>153913163</b>	<b>98322973</b>	<b>594652965</b>
<b>W4a</b>	<b>Pluie efficace disponible = W21-W31</b>	<b>-1034663</b>	<b>-521695</b>		<b>174110160</b>	<b>172553801</b>
<b>W4</b>	<b>Accumulation nette d'eau écosystémique [ANEE] = W2-W3</b>	<b>7185346</b>	<b>195006423</b>	<b>-5938</b>	<b>174114239</b>	<b>376299730</b>
<b>W5</b>	<b>Stocks de clôture</b>	<b>15987667</b>	<b>803917236</b>	<b>4688766542</b>	<b>174114239</b>	<b>5682785344</b>

Le tableau de bilan de base de la ressource en eau écosystémique comprend une partie montrant les stocks à l'ouverture qui correspond à l'état de l'environnement à l'instant  $t_0$  ; une partie montrant le total des apports et retours d'eau qui constituent l'augmentation des stocks; une partie montrant le total des sorties d'eau qui constituent la diminution des stocks ; une partie montrant l'accumulation nette d'eau dans l'écosystème pendant la période comptable et enfin une ligne donnant le stock de clôture, autrement dit les stocks à la fin de la période comptable.

En comparant le stock de ressource en eau entre 2004 et 2014, une diminution est notée :

- Pour les lacs, le stock en 2004 est de  $9,474 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  et celui de 2014 est de  $8,803 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , il y a une diminution de  $0,672 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  soit de 7,1% en 10 ans.
- Pour les rivières, le stock en 2004 est de  $670 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  et celui de 2014 est de  $609 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , il y a une diminution de  $61 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  soit de 9,1% en 10 ans.

Ces diminutions de stock sont dues à la diminution de la précipitation depuis 2004 jusqu'en 2014.

De 2004 jusqu'en 2014, les apports et retours d'eau sont beaucoup plus supérieurs par rapport aux sorties d'eau. Les apports sont de  $1296 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  en 2004 et de  $970 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  en 2014, les sorties sont de  $774,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  en 2004 et de  $594,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  en 2014, ce qui apporte une

accumulation nette d'eau écosystémique positive de 521,7 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> en 2004 et de 376,3 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> en 2014. Cette différence entre apports et sorties est due au faible prélèvement dans la masse d'eau. C'est pourquoi le stock de clôture est supérieur à celui de l'ouverture car il y a beaucoup d'accumulation nette d'eau dans l'écosystème.

Les pluies efficaces disponibles qui correspondent à la différence entre les précipitations et l'évapotranspiration réelle spontanée (**Annexe 6**) sont de 285 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> en 2004 soit 62,45% et 172 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> en 2014 soit 62,51%. Elles sont presque les mêmes en 2004 et 2014.

### I.2. Compte de la ressource en eau écosystémique accessible

La plupart des données utilisées pour compléter les comptes de la ressource en eau écosystémique accessible (**Tableaux 8 et 9**) sont issues du bilan de base de la ressource en eau.

**Tableau 8:** Compte de la ressource en eau écosystémique accessible en 2004 (unité en m<sup>3</sup>)

Types d'actifs du SCEE-Eau		Lacs et réservoirs	Rivières et autres cours d'eau	Eaux souterraines	Sol et végétation	Total eaux intérieures
<b>II. Compte de la ressource écosystémique accessible</b>						
<b>W2a Ressources totales en eau naturelles renouvelables (RTENR)</b>		<b>3894491</b>	<b>518791558</b>	<b>254444072</b>	<b>450418030</b>	<b>1227548151</b>
<b>W2b Ressources totales en eau secondaires</b>		<b>8802558</b>	<b>59988336</b>		<b>2794</b>	<b>68793691</b>
W33	Écoulements naturels vers les territoires en aval et vers la mer		239970089			239970089
<b>W6 Ressources en eau primaires et secondaires nettes</b>		<b>12697049</b>	<b>310538241</b>		<b>450420825</b>	<b>773656117</b>
W1a	Stock de base accessible reporté à nouveau des années précédentes [+]	3677534	259999329			263676863
W71	Total des ajustements des ressources en eau naturelles renouvelables (+ ou -)	-918804	-415788427			-416707231
W39	Autre variation du volume des stocks et ajustements (+ ou -)					
<b>W7a Ressources en eau naturelle exploitables</b>		<b>6653221</b>	<b>363002460</b>	<b>254444072</b>	<b>450418030</b>	<b>1074517783</b>
W72	Total des ajustements des ressources en eau secondaires renouvelables	-191			-2605	-2795
<b>W7b Ressources en eau secondaires exploitables</b>		<b>8802368</b>	<b>59988336</b>		<b>190</b>	<b>68790895</b>
<b>W7 Excédent net d'eau accessible dans l'écosystème [ENEAE]</b>		<b>15455588</b>	<b>422990796</b>	<b>254444072</b>	<b>450418220</b>	<b>1143308678</b>

**Tableau 9:** Compte de la ressource en eau écosystémique accessible en 2014 (unité en m<sup>3</sup>)

Types d'actifs du SCEE-Eau		Lacs et réservoirs	Rivières et autres cours d'eau	Eaux souterraines	Sol et végétation	Total eaux intérieures
<b>II. Compte de la ressource écosystémique accessible</b>						
<b>W2a Ressources totales en eau naturelles renouvelables (RTENR)</b>		<b>2434727</b>	<b>466045522</b>	<b>153907225</b>	<b>272433133</b>	<b>894820607</b>
<b>W2b Ressources totales en eau secondaires</b>		<b>9474292</b>	<b>66653717</b>		<b>4079</b>	<b>76132088</b>
W33	Écoulements naturels vers les territoires en aval et vers la mer		230744358			230744358
<b>W6 Ressources en eau primaires et secondaires nettes</b>		<b>11909019</b>	<b>284854079</b>		<b>272437212</b>	<b>569200309</b>
W1a	Stock de base accessible reporté à nouveau des années précédentes [+]	3416828	236363026			239779854
W71	Total des ajustements des ressources en eau naturelles renouvelables (+ ou -)	-913239	-381457273			-382370512
W39	Autre variation du volume des stocks et ajustements (+ ou -)					
<b>W7a Ressources en eau naturelle exploitables</b>		<b>4938316</b>	<b>320951275</b>	<b>153907225</b>	<b>272433133</b>	<b>752229949</b>
W72	Total des ajustements des ressources en eau secondaires renouvelables	-278			-3803	-4081
<b>W7b Ressources en eau secondaires exploitables</b>		<b>9474014</b>	<b>66653717</b>		<b>277</b>	<b>76128007</b>
<b>W7 Excédent net d'eau accessible dans l'écosystème [ENEAE]</b>		<b>14412330</b>	<b>387604992</b>	<b>153907225</b>	<b>272433409</b>	<b>828357956</b>

La ressource totale en eau renouvelable est la somme entre la précipitation, l'entrée d'eaux internes spontanées et les apports naturels provenant de territoires en amont ; elle est de  $1227 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  en 2004 et de  $894,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  en 2014. Il y a une baisse de  $332,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  soit 27% en 10 ans. Cette diminution est due à la baisse du stock d'eau à cause de la variation de précipitations entre ces périodes.

La ressource totale en eaux secondaires se compose des apports artificiels d'eau provenant d'autres territoires et de la mer, des retours d'eaux usées/rejets dans les masses d'eau intérieures, et d'autres retours d'eau lorsque celle-ci a été prélevée dans des eaux intérieures. Cette ressource est de  $68,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  en 2004 et de  $76 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  en 2014. Il y a augmentation de  $7,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  soit de 9,47% en 10 ans. Cette augmentation est due à l'élévation de l'eau d'irrigation par l'intensification de l'agriculture et de rejet d'eau usée dans les eaux intérieures ; les deux sont dues à l'accroissement de la population dans la NAP Antrema entre 2004 et 2014.

Les ressources en eau primaires et secondaires nettes sont le résultat de l'addition des deux ressources précédentes dont on soustrait les écoulements naturels vers des territoires en aval et vers la mer car ces eaux ne sont pas accessibles dans les conditions économiques, techniques du moment. Elles sont respectivement de  $773 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  et  $569 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  en 2004 et 2014.

Les ressources en eau naturelle exploitables ont été obtenues après des ajustements nécessaires pour prendre en compte les eaux inaccessibles (ou inexploitable) comme les ressources en eau renouvelables irrégulières, les ressources en eau naturelles inutilisables pour des raisons de qualité (y compris la salinité) et les ressources en eau reculées inaccessibles. Ces ressources en eau naturelle exploitables sont de  $1074 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  en 2004 et de  $752 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  en 2014. Elles ont baissées de  $322 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  soit 30% en 10 ans à cause de la diminution de la quantité de ressource en eau renouvelable entre 2004 et 2014.

Les ressources en eau secondaires inutilisables pour des raisons de qualité ont été soustraites du total des ressources en eau secondaires pour avoir les ressources en eau secondaires exploitables qui sont de  $69 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  en 2004 et  $76 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  en 2014.

La somme des ressources en eau primaires et secondaires exploitables correspond à l'excédent net d'eau accessible dans l'écosystème (ENEAE) qui est la quantité maximale qui peut être utilisée sans risque social ou économique, et sans dégrader l'écosystème, y compris sa biomasse et sa biodiversité. Cette quantité est de  $1143 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  en 2004 et de  $828 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  en 2014. Il y a une baisse de  $315 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  soit 27,5% en 10 ans à cause de la diminution du stock d'eau qui est due à la variation de la précipitation entre 2004 et 2014.

### I.3. Compte de l'utilisation totale de l'eau

La plupart des données utilisées pour le compte de l'utilisation sont issues des enquêtes menées auprès des populations locales en plus des données qui sont déjà utilisées dans les comptes précédents. Au total, 92 ménages soit 41,82 % ont été enquêtés. Les **tableaux 10 et 11** ci-dessous présentent ce compte d'utilisation de l'eau en 2004 et 2014.

**Tableau 10:** Compte de l'utilisation totale de l'eau en 2004 (unité en m<sup>3</sup>)

Types d'actifs du SCEE-Eau		Lacs et réservoirs	Rivières et autres cours d'eau	Eaux souterraines	Sol et végétation	Total eaux intérieures
<b>III. Compte de l'utilisation totale de l'eau</b>						
W81	Prélèvements dans les masses d'eau	896356	62988718	3900		63888974
W82	Utilisation d'eau 'verte' par l'agriculture et la foresterie				76190538	76190538
W83	Collecte des eaux de pluie					41
W84	Prélèvement/collecte du ruissellement urbain					0
<b>W8</b>	<b>Utilisation totale de la ressource en eau écosystémique [UTEE]</b>	<b>896356</b>	<b>62988718</b>	<b>3900</b>	<b>76190538</b>	<b>140079553</b>
W91	Apports artificiels d'eau provenant d'autres territoires					2
W92	Prélèvement d'eau de mer	191				191
W93	Utilisation des eaux provenant d'autres entités économiques					0
W94	Eau réutilisée au sein des entités économiques					0
W95	Importation d'eau/contenu des marchandises et des résidus					20
W96	Exportation d'eau/contenu des marchandises et des résidus					20
<b>W9</b>	<b>Utilisation directe d'eau</b>	<b>896546</b>	<b>62988718</b>	<b>3900</b>	<b>76190538</b>	<b>140079786</b>
<b>W10</b>	<b>Consommation intérieure d'eau</b>	<b>896546</b>	<b>62988718</b>	<b>3900</b>	<b>76190538</b>	<b>140079766</b>
W11	Eau virtuelle incorporée dans les marchandises importées					307150
<b>W12</b>	<b>Exigence totale en eau</b>	<b>896546</b>	<b>62988718</b>	<b>3900</b>	<b>76190538</b>	<b>140386936</b>

**Tableau 11:** Compte de l'utilisation totale de l'eau en 2014 (unité en m<sup>3</sup>)

Types d'actifs du SCEE-Eau		Lacs et réservoirs	Rivières et autres cours d'eau	Eaux souterraines	Sol et végétation	Total eaux intérieures
<b>III. Compte de l'utilisation totale de l'eau</b>						
W81	Prélèvements dans les masses d'eau	996274	69987677	5655		70989606
W82	Utilisation d'eau 'verte' par l'agriculture et la foresterie				44971703	44971703
W83	Collecte des eaux de pluie					60
W84	Prélèvement/collecte du ruissellement urbain					0
<b>W8</b>	<b>Utilisation totale de la ressource en eau écosystémique [UTEE]</b>	<b>996274</b>	<b>69987677</b>	<b>5655</b>	<b>44971703</b>	<b>115961369</b>
W91	Apports artificiels d'eau provenant d'autres territoires					3
W92	Prélèvement d'eau de mer	278				278
W93	Utilisation des eaux provenant d'autres entités économiques					0
W94	Eau réutilisée au sein des entités économiques					0
W95	Importation d'eau/contenu des marchandises et des résidus					24
W96	Exportation d'eau/contenu des marchandises et des résidus					21
<b>W9</b>	<b>Utilisation directe d'eau</b>	<b>996552</b>	<b>69987677</b>	<b>5655</b>	<b>44971703</b>	<b>115961674</b>
<b>W10</b>	<b>Consommation intérieure d'eau</b>	<b>996552</b>	<b>69987677</b>	<b>5655</b>	<b>44971703</b>	<b>115961653</b>
W11	Eau virtuelle incorporée dans les marchandises importées					341278
<b>W12</b>	<b>Exigence totale en eau</b>	<b>996552</b>	<b>69987677</b>	<b>5655</b>	<b>44971703</b>	<b>116302952</b>

Trois types d'eau sont utilisés pour la consommation dans la NAP Antrema. Ce sont les lacs, les rivières et l'eau souterraine. Selon les enquêtes faites, un ménage prélève en moyenne huit seaux de 15 litres par jour soit 120 litres et rejette quatre seaux de 15 litres par jour soit 60 litres. Le type d'eau utilisée, la quantité d'eau prélevée et rejetée par secteur sont présentés en **annexe 7**.

Les principaux prélèvements dans la masse d'eau à Antrema sont constitués par l'irrigation et le prélèvement par les ménages. L'utilisation d'eau de l'écosystème est dominée par l'agriculture et la foresterie selon le processus d'évapotranspiration. Le prélèvement d'eau de pluie est pratiqué pour laver les outils mais n'est pas destiné à la consommation.

L'utilisation totale de la ressource en eau écosystémique (UTEE) dans la NAP en 2004 est de  $140 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  et celle de 2014 est de  $116 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . Donc, une diminution de  $24,12 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  est notée en 10 ans. Elle est due à la baisse de l'utilisation de l'eau par la foresterie par le processus d'évapotranspiration à cause de la diminution de la superficie forestière qui se dégrade de plus en plus de 2004 à 2014.

Les exportations d'eau sont constituées par les glaces contenues dans les marchandises de poissons exportés et aussi par le prélèvement d'eau des bateaux qui passent à Ambanjabe. Les importations d'eau sont constituées par les boissons importées et les glaces importées de la ville de Majunga pour la conservation des poissons destinés à l'exportation. Les utilisations des ressources en eau secondaires sont les apports d'eau artificiels provenant d'autres territoires et le prélèvement d'eau de mer. L'utilisation totale de l'eau de l'écosystème plus les ressources en eau secondaires et les importations d'eau est égale à l'utilisation directe de l'eau. L'utilisation directe de l'eau moins les exportations d'eau est égale à la consommation intérieure de l'eau.

L'eau virtuelle contenue dans les marchandises importées est l'eau qui a été utilisée dans leur processus de fabrication. La liste de ces produits importés pour la NAP Antrema ainsi que la quantité d'eau virtuelle correspondante se trouve en **annexe 8** de ce document.

Le total de l'utilisation directe de l'eau et de l'eau virtuelle contenue dans les marchandises importées correspond à l'exigence totale en eau. Cette quantité est de  $140 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  en 2004 et de  $116 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  en 2014. *L'excédent net d'eau accessible dans la NAP Antrema est sept fois supérieur par rapport à l'exigence totale en eau, donc l'eau écosystémique de ce territoire peut suffisamment combler les besoins en eau de l'écosystème et de la population actuels sans risque de dégradation.*

#### I.4. Intensité d'utilisation et de santé de l'eau écosystémique

L'indice d'intensité d'utilisation et de santé écosystémique (**Tableau 12**) combinent les impacts de l'intensité d'utilisation de l'eau avec d'autres composantes de la santé écosystémique de l'eau.

**Tableau 12:** Indices d'intensité d'utilisation et de santé écosystémique

Types d'actifs du SCEE-Eau		Lacs et réservoirs	Rivières et autres cours d'eau	Eaux souterraines	Sol et végétation	Total eaux intérieures
<b>IV. Tableau des indices d'intensité d'utilisation et de santé écosystémique</b>						
W7	Excédent net d'eau accessible dans l'écosystème [ENEAE]	14412330	387604992	153907225	272433409	828357956
W8	Utilisation totale de la ressource en eau écosystémique [UTEE]	996274	69987677	5655	44971703	115961369
W13 [ISUE]	Intensité soutenable de l'utilisation des ressources en eau écosystémiques = W7/W8	14,47	5,54	27218,06	6,06	7,14
W14 [ICES]	Indice composite du changement de l'état de santé de l'eau écosystémique	1	1			1
W15 (VUEI)	Valeur unitaire écosystémique interne (changt)	7,73	3,27	27218,06	6,06	4,07

Le rapport [ENEAE] / [UTEE] qui est l'intensité soutenable des ressources en eau est supérieur à 1. Il est de 14,47 pour les lacs, 5,54 pour les rivières et 7,14 pour le total des eaux intérieures ; donc il y a une accumulation d'eau écosystémique dans la NAP Antrema en 10 ans. Cela signifie qu'il n'y a pas de surconsommation, d'épuisement ou de stress sur la ressource, donc absence de dégradation des écosystèmes.

L'indice composite du changement de l'état de santé de l'eau écosystémique a été basé sur plusieurs diagnostics de divers symptômes de dégradation. Son but est de mesurer le changement de l'état de santé. A cause du manque de données, le critère de diagnostic utilisé porte seulement sur la qualité de l'eau. Les ressources en eau dans la NAP Antrema appartiennent à la classe verte de la classification, donc de bonne qualité. L'indice de changement de l'état de santé de l'ouverture à la fermeture du compte est de 1, donc la situation reste stable. Il n'y a ni dégradation ni amélioration en termes de santé de l'eau écosystémique.

L'association de l'indice quantitatif de l'intensité soutenable de l'utilisation des ressources en eau écosystémiques avec l'indice composite plus qualitatif portant sur les changements de la santé de l'écosystème a permis de mesurer la « valeur unitaire écosystémique interne de l'eau » ; elle est de 4,07 pour le cas des eaux de la NAP Antrema. Cette valeur indique la valeur unitaire de l'eau dans la NAP Antrema qui est utilisée plus tard pour le calcul de l'indice global de la capacité du capital écosystémique afin de connaître sa valeur écologique.

### **I.5. Interprétation générale du compte de l'eau**

Il y a diminution du stock de la ressource en eau entre 2004 et 2014. Elle est de  $0,672 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  soit de 7,1% pour les lacs et de  $61 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  pour les rivières soit de 9,1% en 10 ans. Ces diminutions ont entraîné une baisse de la ressource totale en eau renouvelable de  $332,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  soit 27% en 10 ans, ce qui provoque alors une diminution de la ressource en eau naturelle exploitable. Par contre, l'augmentation de la population dans la NAP Antrema entre 2004 et 2014 a entraîné la hausse de la ressource totale en eau secondaire de  $7,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  soit de 9,47% en 10 ans. Cela veut dire qu'il y a aussi une augmentation de la ressource en eau secondaire exploitable dans l'écosystème.

La somme de ces ressources en eau primaire et secondaire exploitables correspond à l'excédent net d'eau accessible dans l'écosystème (ENEAE). L'ENEAE est la quantité maximale d'eau qui peut être utilisée sans risque social ou économique, et sans dégrader l'écosystème, y compris sa biomasse et sa biodiversité. Cette quantité est de  $1143 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  en 2004 et de  $828 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  en 2014. Donc, il y a une baisse de  $315 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  soit 27,5% en 10 ans. Cette diminution est en général due à la diminution de la précipitation au cours de ces 10 dernières années.

L'exigence totale en eau de la NAP Antrema est de  $140 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  en 2004 et de  $116 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  en 2014. Par rapport à l'excédent net d'eau accessible dans la NAP, cette exigence totale en eau est 7 fois plus faible. Donc l'eau écosystémique de ce territoire peut suffisamment combler les besoins en eau de l'écosystème et de la population actuels sans risque d'épuisement et de dégradation.

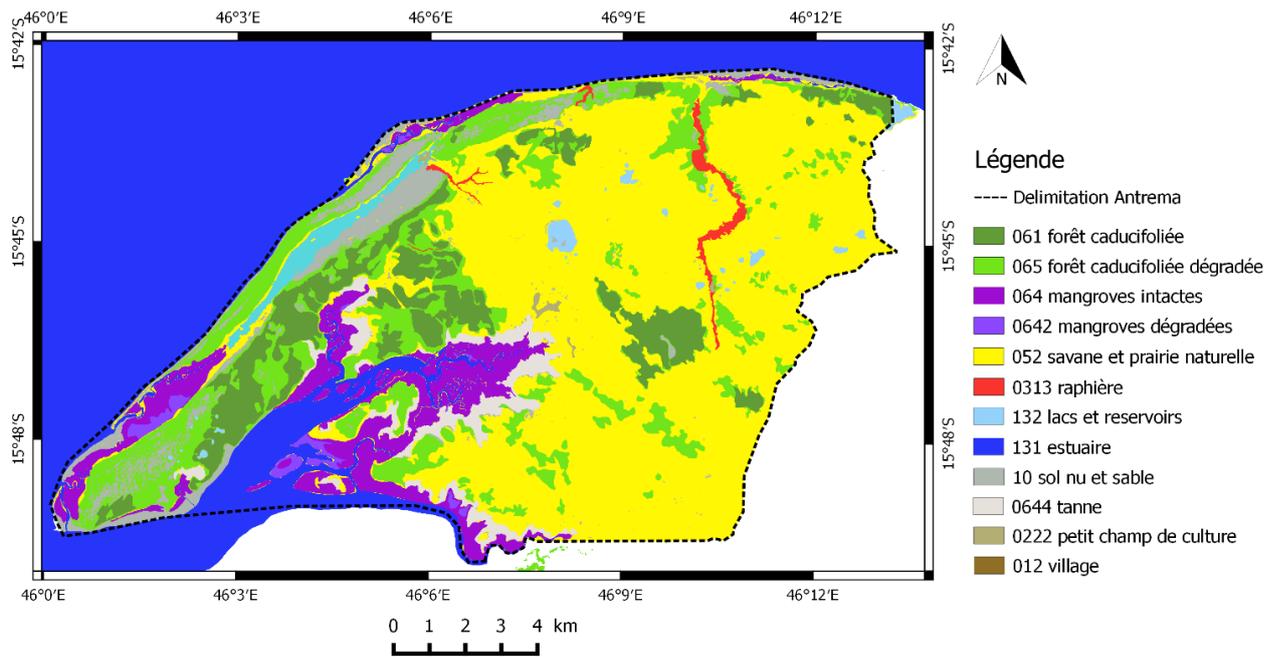
L'indice de changement de l'état de santé de l'eau dans la NAP est de 1, cela veut dire que son état de santé reste stable pendant ces dix dernières années. Il n'y a ni dégradation ni amélioration en termes de santé de l'eau écosystémique. Ce qui explique la valeur élevée de la « valeur unitaire écosystémique interne de l'eau » dans ce territoire qui est de 4,07.

## **II. COMPTES DES SERVICES FONCTIONNELS DE L'INFRASTRUCTURE ECOSYSTEMIQUE**

Les résultats du compte des services fonctionnels de l'infrastructure écosystémique sont constitués par les comptes de base de la couverture des terres et des systèmes de rivières, le compte de potentiel accessible de l'infrastructure écosystémique, le compte de l'accès global aux services fonctionnels de l'infrastructure écologique et enfin l'indice d'intensité d'utilisation et de la santé de l'écosystème.

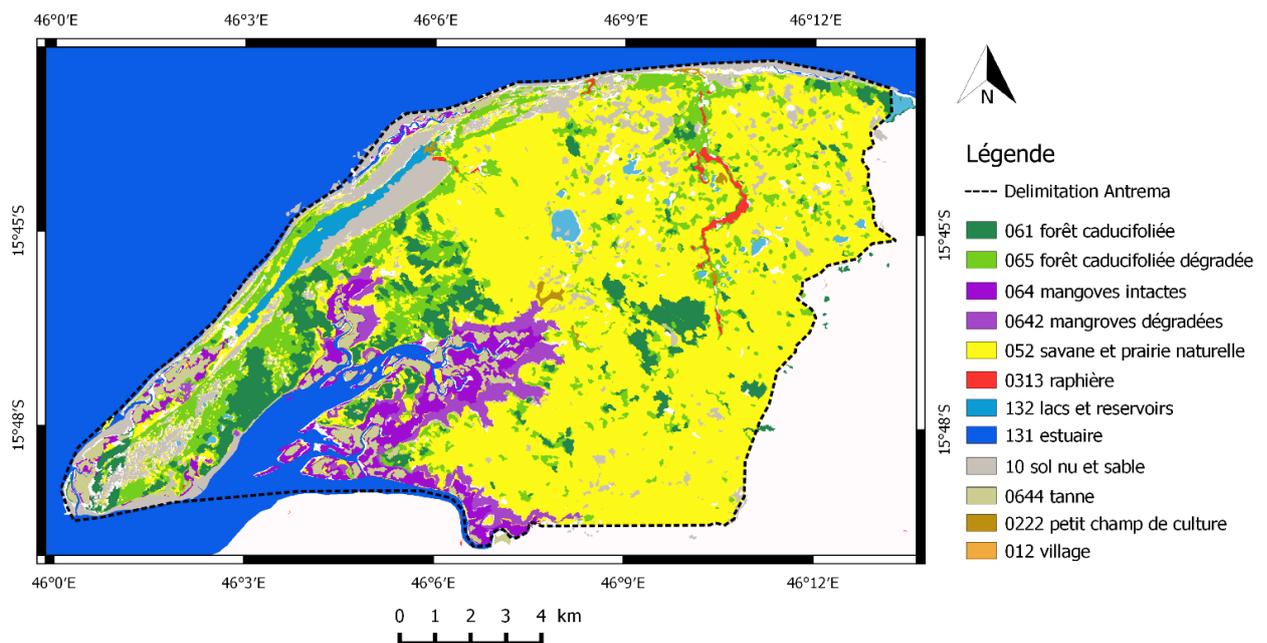
### **II .1. Les comptes de base de la couverture des terres et des systèmes de rivières**

C'est à partir des cartes d'occupation du sol (**Cartes 5 et 6**) et de flux d'occupation du sol (**Carte 7**) que le compte de couverture des terres a été élaboré. D'après ces cartes, 12 classes d'occupation des terres se rencontrent dans la NAP Antrema. Afin d'organiser les comptes, ces 12 classes ont été organisées en unité de paysage socio-écologique (UPSE) (**Carte 8**). L'UPSE a pour objet d'aider à organiser les comptes et non de décrire la variété des écosystèmes. Il est de 5 classes pour le cas de la NAP Antrema à savoir forêt, mangrove, prairie, zones humides et autres couvertures des terres.



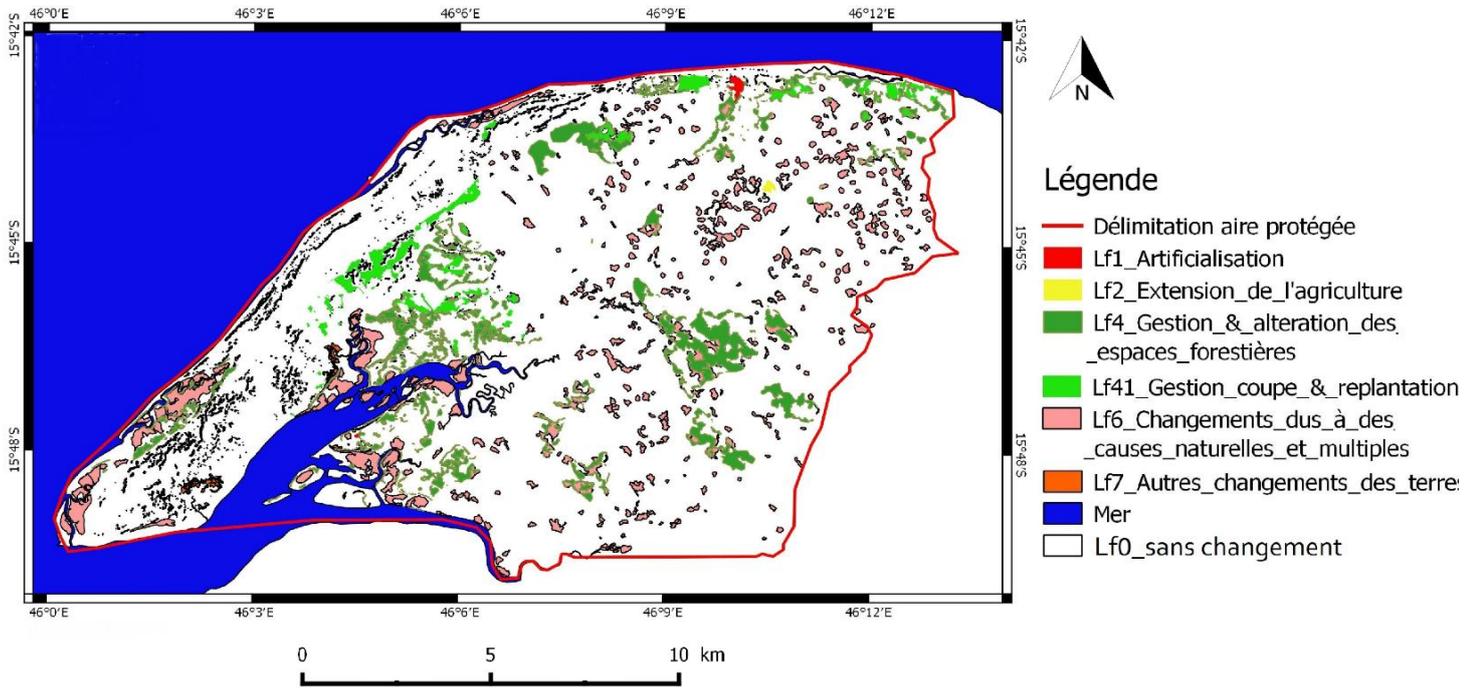
Réal.: RAMBELOARISOA L.F., 2016

Carte 5: Occupation du sol Antrema 2004

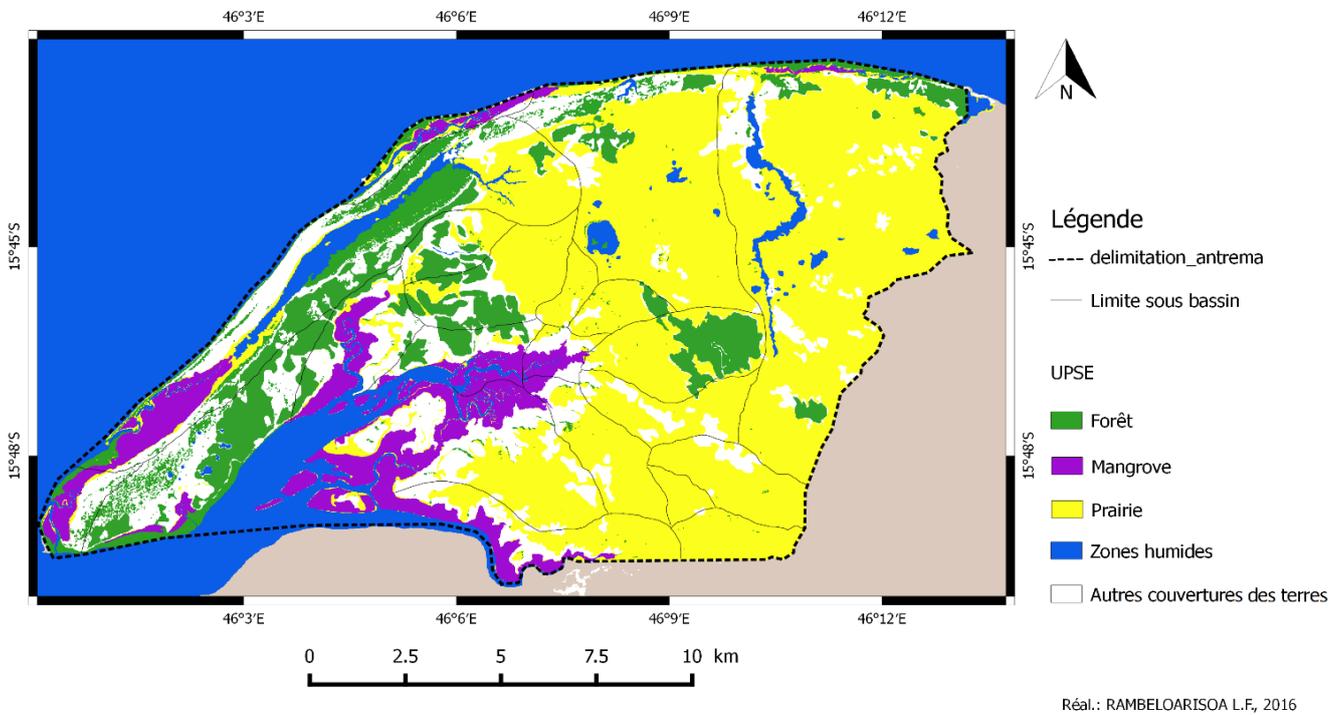


Réal.: RAMBELOARISOA L.F., 2016

Carte 6: Occupation du sol Antrema 2014



Carte 7: Flux d'occupation du sol Antrema entre 2004 et 2014



Carte 8: Unité paysagère socio-écologique

Les comptes de couverture des terres et des systèmes de rivières sont donnés dans le **tableau 13** suivant.

**Tableau 13:** Comptes de base de la couverture des terres et des systèmes de rivières

	Types d'unités comptables écosystémiques	Unités de paysage socio-écologiques (UPSE)/ type de couverture des terres dominant (CTD)					Sous-total des paysages socio-écologiques	Unités de systèmes rivières (USR)/ Tronçons de cours d'eau homogènes			Sous-total des systèmes rivières
		Forêt	Mangrove	Prairies	Zones humides	Autres couverture de terre		Grands cours d'eau, drains principaux	Cours d'eau moyens, principaux affluents		
<b>I.1 Compte des stocks et flux de couverture des terres [ en ha ]</b>											
O12	Peuplements humains dispersés (village)					10	10				
O222	Petits champ de culture herbacées ou aquatiques					40	40				
O313	Raphiale				164		164				
O52	Prairies naturelles (savane et savane arborée)			11182			11182				
O61	forêt caducifoliée (dense seche)	1982					1982				
O65	forêt caducifoliée dégradée (dense seche dégradée)	2431					2431				
O641	Mangroves intactes		1631				1631				
O642	Mangroves dégradées		175				175				
O644	Tanne					672	672				
10	Sols nus					1762	1762				
132	Lacs et reservoirs				378		378				
LC1	Stock d'ouverture de couverture des terres	4413	1806	11182	542	2484	20427				
F_if1	Artificialisation					24	24				
F_if2	Extension de l'agriculture					7	7				
F_if3	Conversions et rotations internes						0				
F_if4	Gestion et altération des espaces forestiers			991			991				
F_if5	Gestion, coupe et replantation	338					338				
F_if6	Restauration et création d'habitats						0				
F_if7	Changements dus à des causes naturelles et multiples	911	485	47		109	1552				
F_if8	Autres changements des terres n.c.a. et réévaluation			370			370				
F_if	Formation de couverture de terre	1249	485	1408	0	140	3282				
C_if1	Artificialisation	10				14	24				
C_if2	Extension de l'agriculture			7			7				
C_if3	Conversions et rotations internes						0				
C_if4	Gestion et altération des espaces forestiers	935	56				991				
C_if5	Gestion, coupe et replantation	338					338				
C_if6	Restauration et création d'habitats		485		47		532				
C_if7	Changements dus à des causes naturelles et multiples		14	851		197	1062				
C_if8	Autres changements des terres n.c.a. et réévaluation					328	328				
C_if	Consommation de la couverture terrestre	1283	555	858	47	539	3282				
O12	Peuplements humains dispersés (village)					34	34				
O222	Petits champ de culture herbacées ou aquatiques					47	47				
O313	Raphiale				117		117				
O52	Prairies naturelles (savane et savane arborée)			11732			11732				
O61	forêt caducifoliée (dense seche)	1644					1644				
O65	forêt caducifoliée dégradée (dense seche dégradée)	2735					2735				
O641	Mangroves intactes		1076				1076				
O642	Mangroves dégradées		660				660				
O644	Tanne					644	644				
10	Sols nus					1360	1360				
132	Lacs et reservoirs				378		378				
LC2	Stock de clôture de couverture des terres	4379	1736	11732	495	2085	20427				
<b>I.2 Comptes de base du réseau hydrographique [en UMSR]</b>											
RS1	Stock d'ouverture de rivières						722,73	132,47	855,20		
RSF1	Changement dû à l'utilisation de l'eau et à la gestion des rivières							2,31	2,31		
RSF2	Changements attribuables à des causes naturelles et inconnues						238,63	40,17	278,80		
RSF3	Changement net dans les stocks de base des rivières						238,63	42,48	281,11		
RS2	Stock final de rivières						484,10	89,99	574,09		

Le compte de couverture des terres et des systèmes de rivières comprend une partie montrant les stocks d'occupation des terres et des systèmes de rivière à l'ouverture (2004) qui correspond à l'état de l'environnement à l'instant  $t_0$  ; une partie montrant les consommations qui sont la disparition des entités en faveur d'autres occupations des terres ; une partie montrant les formations qui sont les gains en superficie et enfin une ligne donnant le stock de fermeture, autrement dit les superficies à l'année 2014.

Le gain en superficie des villages est dû à l'augmentation de population. Cette augmentation est elle-même due à la migration de personnes venant de la ville de Mahajanga et des régions périphériques à cause des opportunités créées par la mise en place de la nouvelle aire protégée. L'augmentation de l'empreinte des villages est, toutefois, une source de déforestation. L'augmentation de petits champs de culture est aussi liée à celle de la population. Les savanes sont transformées en petits champs de manioc et de taro mais le taux reste relativement faible.

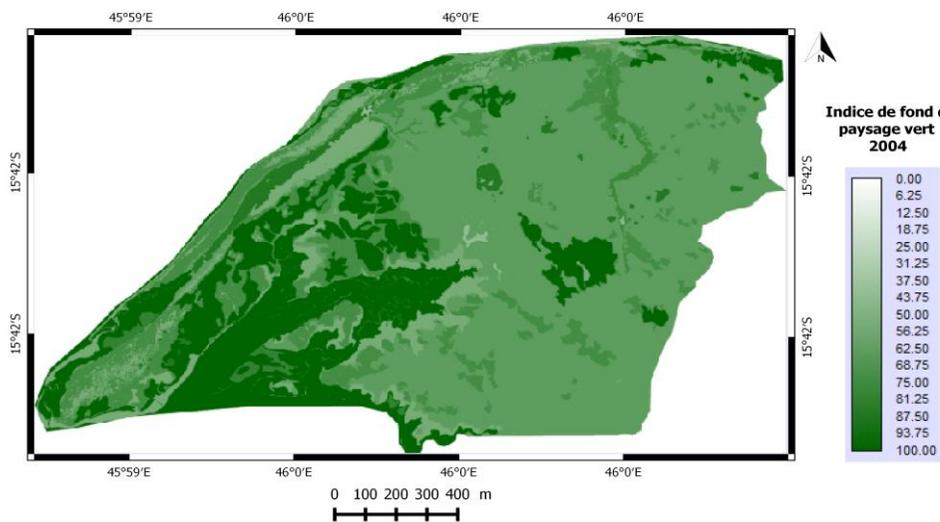
La transformation de la raphiale en prairie est due à la surexploitation des raphias pour la vannerie et la construction des cases. La recherche de nouveaux terrains pour la riziculture pourrait aussi constituer une menace pour les raphiales.

La superficie de la forêt dense sèche est de 1982 ha en 2004 et de 1644 ha en 2014. Soit une diminution de 17,05 % (soit 338 ha) en 10 ans. Cette dégradation de la forêt est due en grande partie à la coupe sélective. A cet effet, les arbres/espèces utiles atteignant des dimensions exploitables sont ciblés et deviennent par la suite de plus en plus rares. Les coupes de bois concernent aussi les gros arbres et les jeunes ou les arbustes en fonction des besoins (bois de construction ou autres). L'exploitation des bois les plus recherchés ne respectent pas la taille exploitable c'est-à-dire de diamètre de plus de 10 cm.

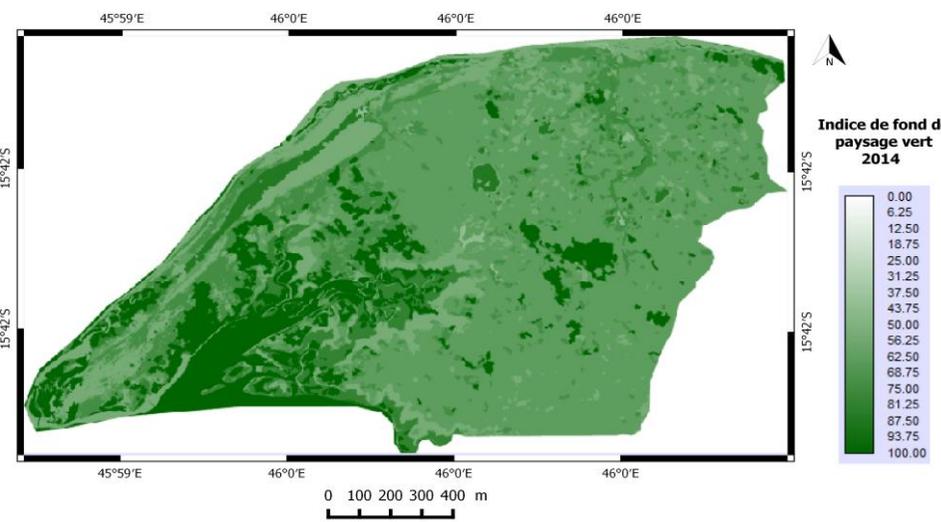
La partie Sud des mangroves est exploitée illicitement pour les besoins en bois (bois de construction, bois de chauffe) des grandes villes et aussi pour la fabrication de charbon. Les bois de palétuviers sont aussi utilisés comme clôture des champs de culture et des rizières. A cause de cette surexploitation et aussi des phénomènes naturels que subissent les mangroves, elles se dégradent et leur superficie se réduit au profit des tannes.

## **II .2. Comptes du potentiel de l'infrastructure écosystémique accessible**

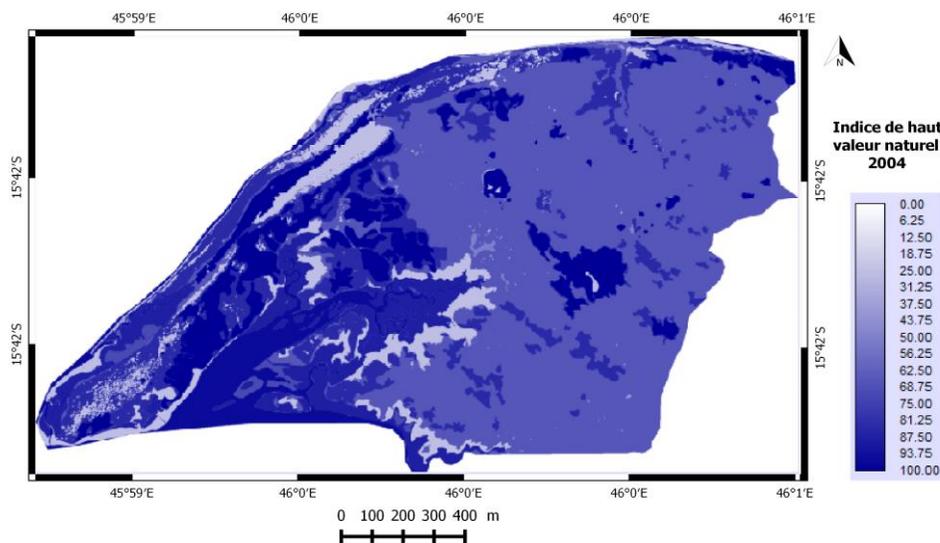
Le potentiel de l'infrastructure écosystémique accessible a été obtenu à partir de différents indices qui sont l'indice de fond de paysage vert, l'indice de haute valeur naturelle, l'indice de fragmentation et l'indice d'écotones verts afin d'évaluer la capacité de base des écosystèmes à fournir des services fonctionnels. Les valeurs finales des notes par indice et par entité sont données par les **cartes 9 à 18** suivantes.



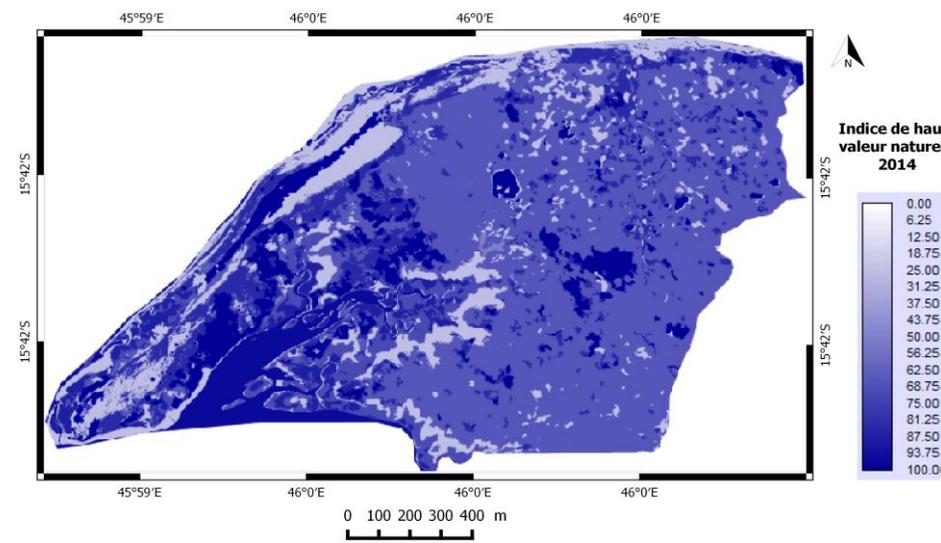
**Carte 9:** Indice de fond de paysage vert 2004



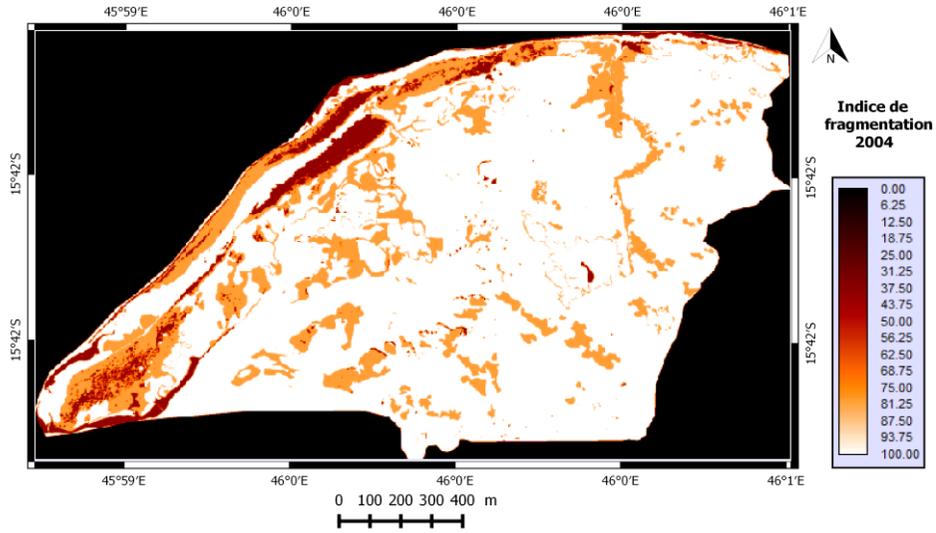
**Carte 10:** Indice de fond de paysage vert 2014



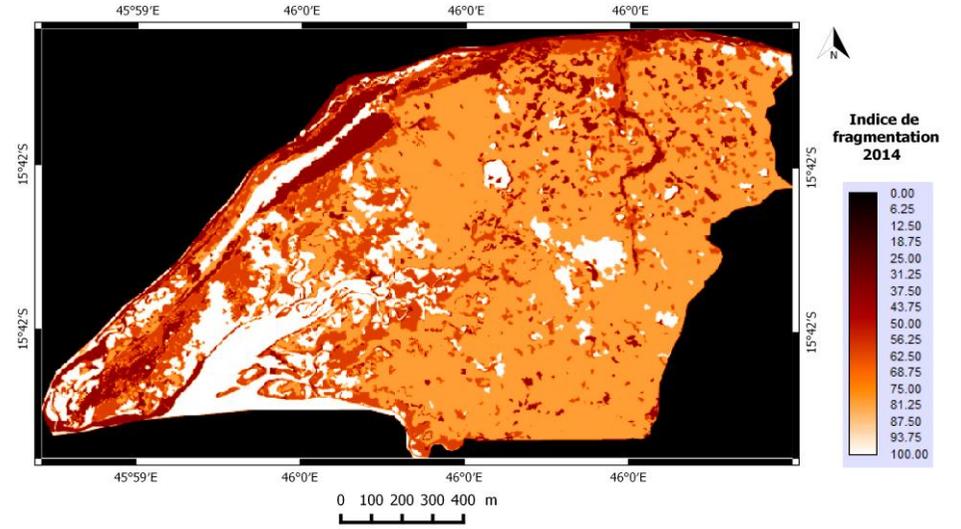
**Carte 11:** Indice de haute valeur naturelle 2004



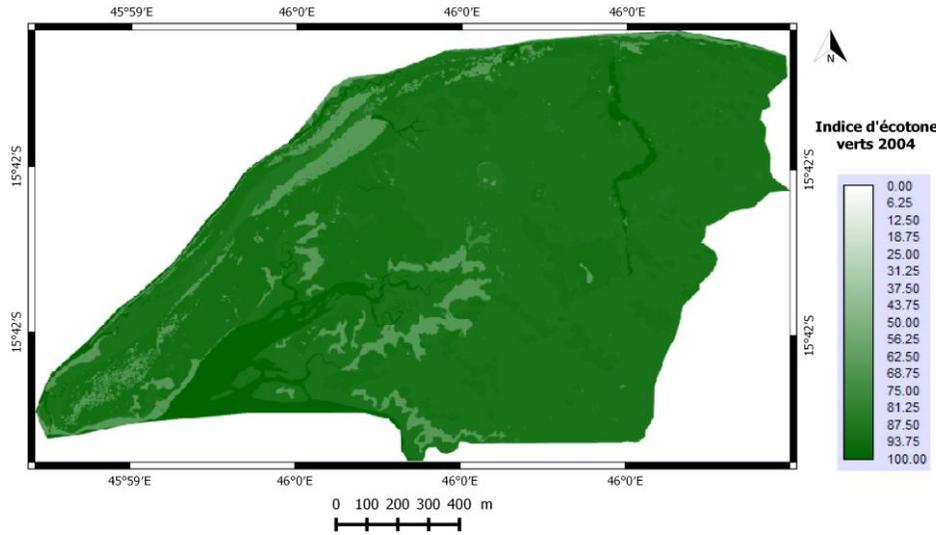
**Carte 12:** Indice de haute valeur naturelle 2014



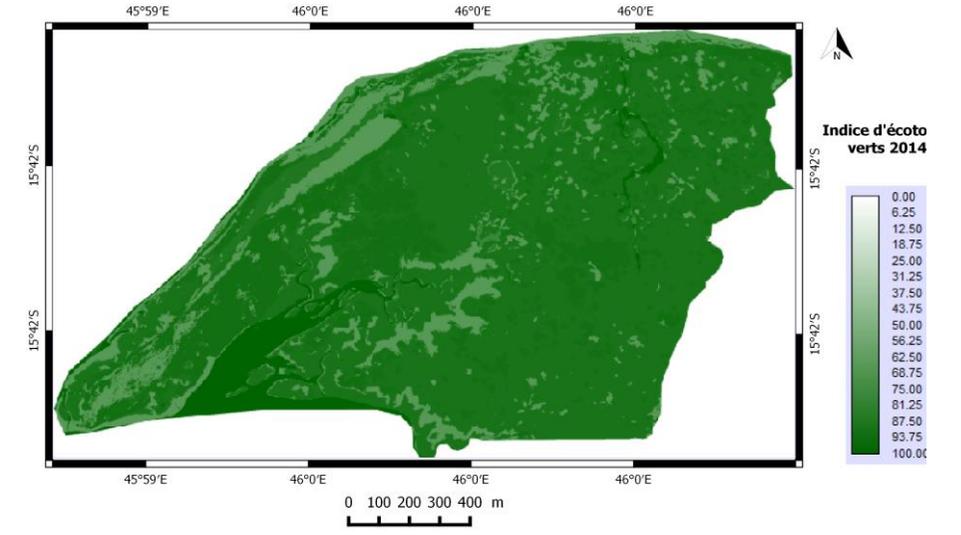
Carte 13: Indice de fragmentation 2004



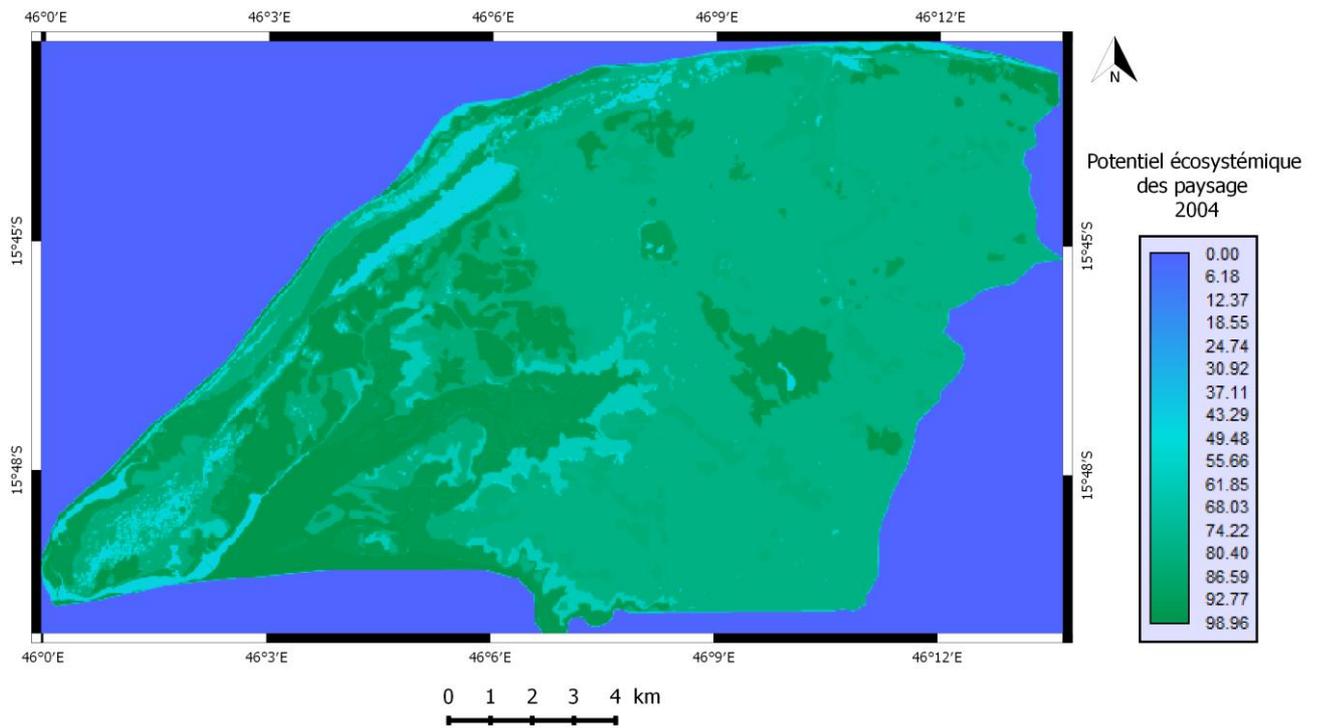
Carte 14: Indice de fragmentation 2014



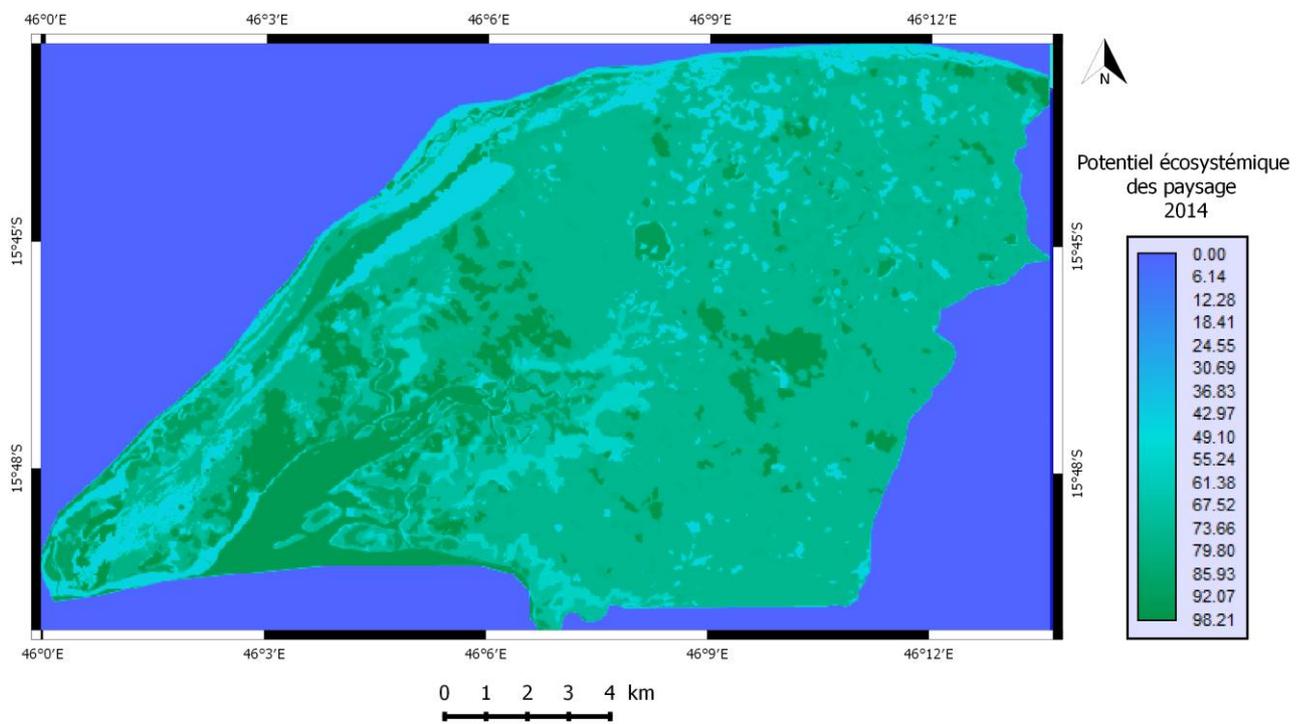
Carte 15: Indice d'écotones verts 2004



Carte 16: Indice d'écotones verts 2014



Carte 17: Potentiel écosystémique du paysage 2004



Carte 18: Potentiel écosystémique du paysage 2014

Le compte de potentiel de l'infrastructure écosystémique accessible est présenté dans le **tableau 14** suivant.

**Tableau 14:** Compte de potentiel de l'infrastructure écosystémique accessible

Types d'unités comptables écosystémiques		Unités de paysage socio-écologiques (UPSE)/					Sous-total des paysages socio-écologiques	Unités de systèmes rivières (USR)/		Sous-total des systèmes rivières
		type de couverture des terres dominant (CTD)						Tronçons de cours d'eau homogènes (TCH)		
		Forêt	Mangrove	Prairies	Zones humides	Autres couverture de terre		TCH1	TCH2	
								Grands cours d'eau, drains principaux	Cours d'eau moyens, principaux affluents	
<b>II. Potentiel de l'infrastructure écosystémique accessible</b>										
<b>LC1</b>	<b>Stock d'ouverture de couverture des terres en ha</b>	<b>4413</b>	<b>1806</b>	<b>11182</b>	<b>542</b>	<b>2484</b>	<b>20427</b>			
PEP01	Indice de fond du paysage vert (IFPV/GBLU) (moyenne par ha)	85,29	98,6	63,3	83,67	40,09	370,95			
PEP02	Indice de haute valeur naturelle paysagère (moyenne par ha)	90,81	85,88	66,67	89,91	25,56	358,83			
PEP03	Indice de fragmentation du paysage (moyenne par ha)	88,98	98,06	100	94,09	57,4	438,53			
PEP04	Indice d'écotones verts du paysage (moyenne par ha)	92,85	90	90	91,28	65,79	429,92			
<b>PEP_avg</b>	<b>Indice composite de potentiel écosystémique des paysages (PEP/LEP), moyenne par ha</b>	<b>89,48</b>	<b>93,14</b>	<b>79,99</b>	<b>89,74</b>	<b>47,21</b>	<b>399,56</b>			
<b>PENP1</b>	<b>Potentiel écosystémique net des paysages = LC1 x PEP_avg</b>	<b>394886,27</b>	<b>168201,81</b>	<b>894476,14</b>	<b>48637,73</b>	<b>117269,64</b>	<b>1623471,58</b>			
<b>RS1</b>	<b>Stock d'ouverture des rivières en unités standard de mesure des rivières (USMR)</b>							<b>722,73</b>	<b>132,47</b>	<b>855,2</b>
PER01	Indice de fond des écosystèmes des rivières							100	80	180
PER02	Indice de haute valeur naturelle des rivières							62,5	62,5	125
PER03	Indice de fragmentation des rivières (obstacles par ha)							100	80	180
PER04	Indice d'écotones verts des rivières							100	91,66	191,66
<b>PER_idx</b>	<b>Indice composite du potentiel écosystémique des rivières (PER)</b>							<b>90,63</b>	<b>78,54</b>	<b>169,17</b>
<b>PENR1</b>	<b>Potentiel écosystémique net des rivières = RS1 x PER_idx</b>							<b>65497,41</b>	<b>10404,19</b>	<b>75901,6</b>
<b>PER_avg</b>	<b>Potentiel écosystémique des rivières net moyen (PER) par ha</b>	<b>0,8</b>	<b>0,33</b>	<b>2,04</b>	<b>0,1</b>	<b>0,45</b>	<b>3,72</b>			
<b>PERP1</b>	<b>Potentiel écosystémique des rivières dans le paysage = LC1 x PER_avg</b>	<b>3530,4</b>	<b>595,98</b>	<b>22811,28</b>	<b>54,2</b>	<b>1117,8</b>	<b>28109,66</b>			
<b>PTIE1</b>	<b>Stock d'ouverture du potentiel total de l'infrastructure écosystémique [PTIE]</b>	<b>398416,67</b>	<b>168797,79</b>	<b>917287,42</b>	<b>48691,93</b>	<b>118387,44</b>	<b>1651581,2</b>			
<b>CH_PTIE</b>	<b>Changement du potentiel total de l'infrastructure écosystémique = PTIE2 - PTIE1</b>	<b>-30755,83</b>	<b>-16177,35</b>	<b>-21050,60</b>	<b>-4429,02</b>	<b>-14643,05</b>	<b>-87055,87</b>			
<b>LC2</b>	<b>Stock de clôture de couverture des terres en ha</b>	<b>4379</b>	<b>1736</b>	<b>11732</b>	<b>495</b>	<b>2085</b>	<b>20427</b>			
PEP01	Indice de fond du paysage vert (IFPV/GBLU) (moyenne par ha)	83,32	95,69	63,3	84,33	52,81	379,45			
PEP02	Indice de haute valeur naturelle paysagère (moyenne par ha)	82,58	80,92	66,67	92,12	26,22	348,51			
PEP03	Indice de fragmentation du paysage (moyenne par ha)	75,01	84,21	80	90,54	53,45	383,21			
PEP04	Indice d'écotones verts du paysage (moyenne par ha)	92,85	90	90	90,45	65,55	428,85			
<b>PEP_avg</b>	<b>Indice composite de potentiel écosystémique des paysages (PEP/LEP), moyenne par ha</b>	<b>83,44</b>	<b>87,71</b>	<b>74,99</b>	<b>89,36</b>	<b>49,51</b>	<b>385,01</b>			
<b>PENP2</b>	<b>Potentiel écosystémique net des paysages = LC2 x PEP_avg</b>	<b>365383,8</b>	<b>152255,9</b>	<b>879812</b>	<b>44233,2</b>	<b>103223,1</b>	<b>1544908</b>			
<b>RS2</b>	<b>Stock final des rivières en unités standard de mesure des rivières (USMR)</b>							<b>484,1</b>	<b>89,99</b>	<b>574,09</b>
PER01	Indice de fond des écosystèmes des rivières							100	60	160
PER02	Indice de haute valeur naturelle des rivières							62,5	62,5	125
PER03	Indice de fragmentation des rivières (obstacles par ha)							100	60	160
PER04	Indice d'écotones verts des rivières							100	91,66	191,66
<b>PER_idx</b>	<b>Indice composite du potentiel écosystémique des rivières (PER)</b>							<b>90,625</b>	<b>68,54</b>	<b>159,165</b>
<b>PENR2</b>	<b>Potentiel écosystémique net des rivières = RS2 x PER_idx</b>							<b>43871,56</b>	<b>6167,91</b>	<b>50039,48</b>
<b>PER_avg</b>	<b>Potentiel écosystémique des rivières net moyen (PER) par ha</b>	<b>0,52</b>	<b>0,21</b>	<b>1,4</b>	<b>0,06</b>	<b>0,25</b>	<b>2,44</b>			
<b>PERP2</b>	<b>Potentiel écosystémique des rivières dans le paysage = LC2 x PER_avg</b>	<b>2277,08</b>	<b>364,56</b>	<b>16424,8</b>	<b>29,7</b>	<b>521,25</b>	<b>19617,39</b>			
<b>PTIE2</b>	<b>Stock de clôture du potentiel total de l'infrastructure écosystémique [PTIE]</b>	<b>367660,8</b>	<b>152620,4</b>	<b>896236,8</b>	<b>44262,9</b>	<b>103744,4</b>	<b>1564525,4</b>			

Le tableau de compte du potentiel total de l'infrastructure écosystémique comprend une ligne de stock de couverture des terres à l'ouverture, c'est-à-dire en 2004, une partie montrant le potentiel écosystémique net des paysages (PENP1) de cette année. Il comprend également une ligne de stock d'ouverture des rivières en UMSR de la période de 2004, une partie montrant le potentiel écosystémique net des rivières (PENR1) de cette année, et aussi du potentiel écosystémique des rivières dans le paysage (PERP1) qui combine le stock des rivières avec celui des paysages. Et enfin une ligne de stock du potentiel total de l'infrastructure écosystémique à l'ouverture (PTIE1), c'est-à-dire le stock de PTIE en 2004. Le stock en 2014 a les mêmes lignes et composants que celui de 2004 précédentes.

Le potentiel total de l'infrastructure écosystémique a diminué entre 2004 et 2014. Cette diminution est de 7,72% pour la forêt en 10 ans, 9,59% pour les mangroves, 2,3% pour la savane, 9,1% pour les zones humides et 12,37% pour les autres couvertures des terres.

Ces diminutions pour les forêts et les mangroves sont dues à la dégradation et à la diminution de leur superficie à cause des coupes sélectives et de besoin en bois ; celles des savanes sont dues à leur changement de structure à cause des feux qui leur parcourent pendant ces périodes ; celles des zones humides par la diminution de la quantité d'eau due à la variation de précipitation pendant ces dix dernières années. Les diminutions pour les autres couvertures des terres sont dues à l'augmentation de l'empreinte des villages et de l'agriculture.

*En totalité, pour tous les écosystèmes dans la NAP Antrema, la diminution du potentiel écosystémique accessible est de 5,28 % en 10 ans. Cette diminution n'est pas significative et on peut dire que les ressources de base accessibles restent stables pendant ces périodes.*

### **II .3. Comptes d'accès aux services fonctionnels de l'infrastructure écosystémique**

L'objectif du compte d'accès aux services fonctionnels de l'infrastructure écosystémique est d'évaluer l'accès aux services écosystémiques incorporels en comparant l'offre et la demande. Il donne une indication utile sur l'importance globale des services incorporels et constitue un lien entre accessibilité et utilisation effective. Il est présenté sous forme de six grands services : l'accès local aux PTIE, aux services de l'agroécosystème, et à la conservation de la nature (par ex. les services récréatifs destinés à la population, la pollinisation dans l'agriculture) ; l'accès au niveau des bassins hydrographiques (par ex. la régulation des crues) ; l'accès régional (par ex. le tourisme) et l'accès mondial (par ex. les services de conservation de la nature d'importance mondiale). Le compte d'accès aux services fonctionnels de l'infrastructure écosystémique est présenté dans le **tableau 15** suivant.

**Tableau 15:** Compte d'accès aux services fonctionnels de l'infrastructure écosystémique

	Types d'unités comptables écosystémiques	Unités de paysage socio-écologiques (UPSE)/ type de couverture des terres dominant (CTD)					Sous-total des paysages socio-écologiques
		UR	LA	AM	GR	FO	
		Forêt	Mangrove	Prairies	Zones humides	Autres couvertures de terre	
<b>III. Accès global aux services fonctionnels de l'infrastructure écosystémique</b>							
<b>PTIE1</b>	<b>Stock d'ouverture du potentiel total de l'infrastructure écosystémique [PTIE]</b>	<b>398416,67</b>	<b>168797,79</b>	<b>917287,42</b>	<b>48691,93</b>	<b>118387,44</b>	<b>1651581,24</b>
AIP11	Température urbaine dans le voisinage	27	27	27	27	27	
AIP12	Densité de population dans le voisinage	7	7	7	7	7	
AIP13	Température urbaine dans le voisinage pondérée par la population = AIP11xAIP12	189	189	189	189	189	
<b>AIP1</b>	<b>Accès local de la population au PTIE = sqrt(PTIE1xAIP13)</b>	<b>8677,60</b>	<b>5648,25</b>	<b>13166,90</b>	<b>3033,61</b>	<b>4730,25</b>	<b>35256,61</b>
AIP21	Température agricole dans le voisinage				27		27
AIP22	Productivité biocarbone agricole				2116		2116
AIP23	Temperature agricole pondérée par le biocarbone = AIP21xAIP22				57132		57132
<b>AIP2</b>	<b>Accès local de la population aux services de l'agro-ecosystème = sqrt(AIP1xAIP23)</b>				<b>13164,96</b>		<b>13164,96</b>
AIP31	Zones naturelles protégées	4413	1806	11182	542	2484	20427
<b>AIP3</b>	<b>Accès local au PTIE pour la conservation de la Nature = sqrt(PTIE1xAIP31)</b>	<b>41931,05</b>	<b>17459,92</b>	<b>101277,38</b>	<b>5137,22</b>	<b>17148,60</b>	<b>182954,17</b>
AIP41	Indice du potentiel total de l'infrastructure écologique (PTIE) des bassins d'affluent	9,50	9,67	9,06	9,48	6,90	
AIP42	Densité moyenne de population du bassin d'affluent	7	7	7	7	7	
<b>AIP4</b>	<b>Accès aux services de régulation de l'eau dans le bassin versant = sqrt(AIP41xAIP42)</b>	<b>8,16</b>	<b>8,23</b>	<b>7,96</b>	<b>8,15</b>	<b>6,95</b>	<b>39,44</b>
AIP51	Température de l'infrastructure touristique dans le voisinage	27	27	27	27	27	
AIP52	Fréquentation touristique	75	75	75	75	75	
AIP53	Température pondérée de l'infrastructure touristique dans le voisinage	2025	2025	2025	2025	2025	
<b>AIP5</b>	<b>Accès régional au PTIE [tourisme] = sqrt(PTIE1xAIP53)</b>	<b>28404,12</b>	<b>18488,25</b>	<b>43098,81</b>	<b>9929,81</b>	<b>15483,36</b>	<b>115404,35</b>
AIP61	Réseaux écologiques et habitats d'importance internationale	4413	1806	11182	542		17943
<b>AIP6</b>	<b>Accès global aux services de conservation de la nature = sqrt(PTIE1xAIP61)</b>	<b>41931,05</b>	<b>17459,92</b>	<b>101277,38</b>	<b>5137,22</b>		<b>165805,57</b>

L'accès local de la population au PTIE et aux services de l'agrosystème a des valeurs élevées parce que la NAP Antrema est une zone avec de petits villages implantés dans un environnement et paysage plutôt naturel, faiblement urbanisé et faiblement cultivé. Ces accès constituent l'accès de la population à la nature et à la nourriture produite localement.

L'accès régional de la population au PTIE est le même que l'accès local de la population ; la différence est que seule la population touristique est prise en compte et non la population en général. D'après les enquêtes faites, le nombre de touristes dans la NAP Antrema est d'environ 150 personnes par an (Rabemananjara, 2009).

L'accès local au PTIE en matière de conservation de la nature donne une idée de la quantité de PTIE à la fois à l'intérieur de la zone protégée et de l'influence de l'utilisation des terres dans les zones voisines. Cette influence a des effets favorables car la NAP se trouve dans une zone rurale loin des villes.

Chacun de ces six grands services vont contribuer dans une analyse plus approfondie et dans une cartographie et une comptabilité plus détaillée des services écosystémiques spécifiques. Ces comptes fonctionnels vont permettre de passer d'une évaluation de l'accès au potentiel à la comptabilisation de l'utilisation effective de ces services.

#### II .4. Indices d'intensité d'utilisation et de santé de l'écosystème

Le tableau comptable des indices d'intensité d'utilisation et de la santé de l'écosystème combine le PTIE avec un diagnostic de santé des écosystèmes basé principalement sur des indicateurs de biodiversité. Il est présenté par le **tableau 16** suivant.

**Tableau 16** Indice d'intensité d'utilisation et de santé de l'écosystème

	Types d'unités comptables écosystémiques	Unités de paysage socio-écologiques (UPSE)/					Sous-total des paysages socio-écologiques
		type de couverture des terres dominant (CTD)					
		UR	LA	AM	GR	FO	
		Forêt	Mangrove	Prairies	Zones humides	Autres couverture de terre	
<b>IV. Tableau des indices d'intensité d'utilisation et de santé de l'écosystème</b>							
<b>PTIE1</b>	<b>Stock d'ouverture du potentiel total de l'infrastructure écosystémique [PTIE]</b>	<b>398416,67</b>	<b>168797,79</b>	<b>917287,42</b>	<b>48691,93</b>	<b>118387,44</b>	<b>1651581,2</b>
<b>PTIE2</b>	<b>Stock de clôture du potentiel total de l'infrastructure écosystémique [PTIE]</b>	<b>367660,8</b>	<b>152620,44</b>	<b>896236,81</b>	<b>44262,9</b>	<b>103744,39</b>	<b>1564525,4</b>
<b>IUIE</b>	<b>Intensité d'usage de l'infrastructure écosystémique = PTIE2/PTIE1</b>	<b>0,92</b>	<b>0,90</b>	<b>0,98</b>	<b>0,91</b>	<b>0,88</b>	<b>0,95</b>
EIH01	Modification de la richesse spécifique	1,38	1,02	1,00	1,03	1,22	1,13
EIH02	Modification de la diversité des espèces menacées	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36
EIH03	Modification de la diversité des espèces endémiques	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16
EIH04	Modification de l'état de santé des biotopes	0,89	0,75	0,89	0,86	0,93	0,86
EIH05	Modification de l'indice de spécialisation des espèces	0,89	1,00	0,89	0,93	1,00	0,94
EIH06	Modification de l'état de santé des rivières	1,00	0,80	0,89	0,90	0,87	0,89
<b>ICES</b>	<b>Indice composite du changement de l'état de santé de l'écosystème</b>	<b>1,11</b>	<b>1,02</b>	<b>1,03</b>	<b>1,04</b>	<b>1,09</b>	<b>1,06</b>
<b>VUEI</b>	<b>Valeur unitaire écosystémique interne (changt) = AVG (IUIE, ICES)</b>	<b>1,02</b>	<b>0,96</b>	<b>1,00</b>	<b>0,97</b>	<b>0,98</b>	<b>1,00</b>

L'intensité d'usage de l'infrastructure écosystémique pour la NAP Antrema est de 0,95. D'après cette valeur, la ressource de base accessible reste stable en 10 ans. Donc, on note une absence de dégradation ou de stress ou d'accumulation dans la ressource de base accessible entre la période de 2004 et 2014.

La connaissance de la richesse spécifique, de la diversité des espèces menacées et de la diversité des espèces endémiques ont augmenté en 10 ans. Ces augmentations sont dues à

l'inventaire biologique presque complet de tous les écosystèmes et habitats dans la NAP en 2014. En 2004, plusieurs écosystèmes et habitats n'étaient pas encore inventoriés alors qu'en 2014, tous les écosystèmes et habitats ont été presque inventoriés excepté l'écosystème marin. Ces augmentations de richesse en espèces indiquent que les écosystèmes et les habitats dans ce territoire sont en bonne santé.

L'indice de spécialisation des espèces est égal à 1 pour la totalité des écosystèmes dans la NAP. Donc, la capacité de récupération des écosystèmes et des espèces reste correcte entre 2004 et 2014.

L'état de santé de biotope et celui des rivières se dégradent car leur indice respectif est inférieur à 1.

En globalité, l'indice de santé des écosystèmes de la NAP Antrema est de 1,06. Donc, l'état de santé des écosystèmes de cette aire protégée reste stable entre 2004 et 2014 ; les écosystèmes sont en bonne santé et bien conservés.

L'indice de variation annuelle de l'intégrité écologique de l'écosystème est égal à 1 pour la totalité des écosystèmes de la NAP Antrema. Il est respectivement de 1,02 ; 0,96 ; 1 et 0,97 pour la forêt, la mangrove, la savane et pour les zones humides. Ces valeurs constituent la valeur unitaire écologique interne de l'infrastructure écosystémique de la NAP qui est utilisé pour le calcul de la capabilité écologique totale.

## **II.5. Interprétation générale du compte fonctionnel de l'infrastructure écosystémique**

Les gains en superficie des villages (240 %) et des petits champs de culture (17,5 %) sont dus à l'augmentation de la population dans la NAP en 10 ans. Les savanes sont transformées en petits champs de manioc et de taro mais le taux reste relativement faible. Cette augmentation de l'empreinte des villages est, toutefois, une source de déforestation. Pour cela, la surexploitation des raphias pour la vannerie et la construction des cases a entraîné la diminution des raphiales de 28,66 % en 10 ans. Les coupes de bois sélectives qui concernent les gros arbres et les jeunes ou les arbustes en fonction des besoins (bois de construction ou autres) ont entraîné une diminution de la superficie de la forêt dense sèche de 17,05 % (338 ha) en 10 ans. Les mangroves se dégradent et leur superficie se réduit au profit des tannes à cause de leur exploitation illicite pour les besoins en bois (bois de construction, bois de chauffe) des grandes villes et aussi pour la fabrication de charbon.

Ces changements de superficie de couverture des terres ont entraîné la diminution du potentiel total de l'infrastructure écosystémique accessible (PTIE) entre 2004 et 2014. Cette diminution est de 7,72% pour la forêt en 10 ans, 9,59% pour les mangroves, 2,3% pour la savane, 9,1% pour les zones humides et 12,37% pour les autres couvertures de terre. En moyenne, pour tous les écosystèmes dans la NAP Antrema, la diminution du potentiel total de l'infrastructure écosystémique est de 5,28 % en 10 ans. Cette diminution n'est pas significative et on peut dire que les ressources de base accessibles restent stables pendant ces périodes, c'est-à-dire qu'il y a absence de dégradation ou de stress ou d'accumulation sur ces ressources accessibles.

L'indice de santé des écosystèmes de la NAP Antrema est de 1,06. Cela veut dire que la santé des écosystèmes reste stable entre 2004 et 2014. Une absence de dégradation ou de stress est notée et tous les écosystèmes sont en bonne santé. L'indice de variation annuelle de l'intégrité écologique de l'écosystème est égal à 1 pour la totalité des écosystèmes de la NAP Antrema.

**PARTIE IV :**  
**DISCUSSIONS ET**  
**RECOMMANDATIONS**

## **I. DISCUSSIONS**

Dans cette étude, plusieurs méthodes et techniques ont été adoptées. Mais, la bibliographie et l'enquête sont les principales sources d'informations malgré le manque de temps et l'existence de différentes limites et contraintes lors de la période de terrain comme l'accès aux lacs et rivières qui est difficile à cause de la présence des crocodiles et l'interdiction de passage des pirogues.

Cette étude a permis de mettre à jour certaines informations qui sont obsolètes comme celles des lacs. Dans cette étude, les lacs recensés dans la NAP Antrema sont au nombre de 48 avec 24 permanents et 24 non permanents alors que lors d'une étude antérieure, il a été recensé 14 lacs avec 13 permanents et 1 non permanent (Rakotondrasata, 2014).

La superficie de la forêt dense sèche dans la NAP Antrema a diminué de 17,05 % en 10 ans. Le taux de dégradation de la forêt est donc de 1,7% par an. Par rapport au taux de déforestation de la Région Boeny qui est de 1,38% (ONE et *al.*, 2013), ce taux de déforestation est élevé. Au niveau national, le taux de déforestation est de 0,65% par an. Ces différences sont expliquées par le fait qu'on a utilisé des images à très haute résolution (SPOT-5 avec un pixel de 2,5 m) alors que les estimations régionales et nationales faites par l'ONE ont été obtenues à partir d'images Landsat avec des pixels à 30 m de côté. D'où la valeur de déforestation élevée dans la présente étude car la précision dans la détermination des occupations des sols est plus élevée. L'évaluation faite ici est plus proche de la réalité.

Le taux de dégradation des mangroves dans la Nouvelle Aire Protégée d'Antrema est de 3,4 % par an. C'est relativement peu accentué par rapport au taux annuel enregistré dans la baie d'Ambanja-Ambaro (Nord de Madagascar) qui est de 7,77% (Ravelonjatovo, 2014). La dégradation est ici due à des causes naturelles et des causes anthropiques comme la surexploitation pour la fabrication de charbon de bois.

Les méthodologies utilisées dans cette expérimentation sont applicables à l'échelle nationale si toutefois des capacités de calcul suffisantes seraient disponibles pour traiter les images à très haute résolution. Mais, il est envisageable d'utiliser des images de moindre résolution spatiale telles que les images Landsat (30 m) ou Sentinel-2 (20 m). Chaque scène de ces dernières présente également l'avantage de couvrir une zone de plus grande superficie dont 180 km x 180 km pour Landsat et 290 km x 290 km pour Sentinel-2. Il est évident que les cartographies faites seront alors de moindre précision par rapport à une cartographie à très haute

résolution. Toutefois, on peut supposer que les tendances trouvées refléteront bien l'évolution réelle de l'environnement si les images utilisées pour les deux dates sont de même précision.

## **II. RECOMMANDATIONS**

Selon les résultats mis en évidence par cette étude de comptabilité du capital naturel de la Nouvelle Aire Protégée d'Antrema, quelques recommandations peuvent être formulées pour s'orienter vers une meilleure gestion de ce site :

- La plupart des villages et hameaux dans la NAP Antrema possèdent déjà des puits comme Bako, Antrema, Ambanjabe, Ampapamena, Antsoherimasiba, Ankoririaka et Mangararahabo. Il est donc nécessaire de mettre en place des puits ou des bornes fontaines dans les autres villages ou les hameaux qui n'en possèdent pas encore. L'approvisionnement en eau potable est nécessaire pour assurer une meilleure santé de la communauté ;
- Renforcer les programmes de conservation communautaire dont bénéficie déjà ce site bioculturel à travers le transfert de gestion des ressources naturelles marines aux communautés et l'existence de patrouilles communautaires ;
- Appuyer la mise en œuvre de différentes activités génératrices de revenus alternatives ou de compensation afin de conserver la diversité biologique;
- Conserver l'environnement physique par le reboisement dans les mangroves et sur terre ferme en utilisant les espèces autochtones les plus utiles et à croissance rapide: Acacia,...
- Construire des infrastructures écotouristiques pour l'écotourisme ; mettre en place des circuits touristiques et former des guides ;
- Promouvoir une meilleure connaissance du site à travers des programmes de recherche scientifiques et des actions socio-culturelles ;
- Elargir le plan d'Information-Education-Communication (IEC) dans les écoles jusqu'aux groupements villageois.
- Renforcer la capacité des comités villageois ou « VNA (Voamieran'ny Ala),.. » en matière de législation forestière ;
- Mettre en œuvre des initiatives de restauration forestière à l'intérieur de cette forêt afin de conserver et de protéger de façon durable ces écosystèmes.

- Maîtriser les feux de savane qui ont tendance à activer les graines de *Bismarckia* (ou 'satrana'). La savane a ainsi tendance à évoluer vers une situation pré-forestière. Ce qui aura pour conséquence de diminuer les aires de pâturage. Or, l'élevage extensif est une tradition très ancrée dans les mœurs locales.

- Maitriser la migration vers le site afin que l'afflux de personnes ne nuise pas à sa conservation même si cette migration est encore actuellement à un niveau acceptable.

**CONCLUSION ET  
PERSPECTIVES**

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. C'est pourquoi l'objectif de cette étude était d'évaluer l'état et les variations du capital naturel dans la NAP Antrema afin d'avoir une vue synthétique de l'état de l'environnement pour sa meilleure gestion.

Le stock de la ressource en eau dans la NAP a diminué de 8,1 % entre 2004 et 2014 à cause de la diminution de la précipitation entre ces périodes mais l'excédent net en eau accessible dans l'écosystème est 7 fois supérieur à l'exigence totale en eau dans la NAP Antrema. Donc, les ressources en eau accessibles et exploitables restent suffisantes pour maintenir les besoins du fonctionnement de l'écosystème et de l'utilisation humaine. L'offre peut encore combler la demande pendant plusieurs années sans risque de dégradation. D'où la vérification de la première hypothèse posée lors de cette étude. Le stock de couverture de terre a tendance à se dégrader et diminuer en 10 ans. Cette diminution est de 17,05 % pour la forêt dense sèche, de 34 % pour les mangroves intactes et de 28,65 % pour les raphiales. Malgré cette diminution, on note une absence de stress, de dégradation et d'amélioration au niveau de la santé des écosystèmes. Le potentiel total de l'infrastructure écosystémique reste stable en 10 ans ; les écosystèmes sont en bonne santé et les services écosystémiques fournis sont maintenus. Ce qui amène à la vérification de la deuxième hypothèse. Donc, on peut conclure que depuis la date de création du site bioculturel Antrema jusqu'à maintenant, tous ces écosystèmes sont bien conservés.

Cette étude de comptabilité du capital naturel a permis d'acquérir plus d'expériences et de compétences dans plusieurs disciplines comme la télédétection et le SIG, l'hydrologie, la comptabilité et la statistique, l'écologie, etc. Elle peut être un outil performant entre les mains de gestionnaires de parcs, d'aires protégées ou de l'environnement d'une région, en plus d'être un outil de prise de décision nationale.

Dans l'avenir, afin de compléter totalement le compte écosystémique du capital naturel de la nouvelle aire protégée d'Antrema, quelques travaux restent à faire :

- Réviser et compléter le compte de carbone écosystémique de la NAP Antrema ;
- Elaborer le compte de capacité écosystémique ;
- Elaborer le compte détaillé des services écosystémiques spécifiques ;
- Enfin, élaborer le compte monétaire.

**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- 1) ANDRIAMANOARISOA, G.F. 2006. *Relation développement socio-économique et gestion des ressources naturelles dans la zone d'Antrema*. Mémoire de fin d'étude. Département de Sociologie. Faculté de Droit, d'Economie, de gestion et de Sociologie Antananarivo, 91p.
- 2) ASSOCIATION RENIALA, 2013. *Plan d'Aménagement et de Gestion Simplifié (PAGS) de la Nouvelle Aire Protégée d'Antrema*. Parc Zoologique de Paris/Faculté des Sciences Antananarivo, 88 p. + Annexes.
- 3) ASSOCIATION RENIALA, 2016. *Diagnostics physico-bioécologiques de la Nouvelle Aire Protégée d'Antrema (CR Katsepy-Region Boeny)*. Parc Zoologique de Paris/Faculté des Sciences Antananarivo, 77p. + Annexes.
- 4) BESAIRIE, H. 1966. *La géologie du bassin de Mahajanga à Madagascar*. Service géologique. Documentation du bureau géologique n°172, 285p.
- 5) Convention sur la Diversité Biologique, 2014. *Comptes écosystémiques du capital naturel: une trousse de démarrage rapide*. Cahier technique n° 77, Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique. Montréal, 288p.
- 6) DBEV, 2009. *Etude d'Impact Environnemental et Social (EIES) de la mise place de la Nouvelle Aire Protégée d'Antrema*. Fac. Sciences, Univ. Antananarivo, 84 p.
- 7) EASTMAN J.R., 1993. *Idrisi Version 4.1*. Worcester (USA), Clark University. 209p.
- 8) GAUTHIER, C.A. ET LECLERC, C. 2000. *Pré-projet Pilote Bio-culturel d'Antrema Aranta*. Rapport d'activité. Parc zoologique. Zoo de bois de Vincennes de Paris, 53p.
- 9) HAINES-YOUNG, R. AND WEBER, J.L. 2006. *Land Accounts for Europe 1990–2000: Towards Integrated Land and Ecosystem Accounting*. EEA Report No 11/2006. European Environment Agency, Copenhagen, Denmark, 108p.
- 10) HASINIONY, R.E.H. 2012. *Potentialité et écologie des savanes utilisées comme parcours naturels dans la partie nord de la Station Forestière d'Antrema*. Mém. DEA, Ecologie Végétale Appliquée. Univ. Antananarivo, 89 p. + Annexes.
- 11) HELMAN, S. 2011. *The virtual water and the water footprint concepts*. Acatech Materialien Nr-14. Munichen, Germany, 36p.
- 12) HUMBERT, H., 1965. Description des types de végétation. In : HUMBERT, H. et COURS DARNE, 1965. *Carte internationale du tapis végétal et des conditions écologiques*. Trav. Sect.Sc Tech. Inst. Fr. Pondichéry, Paris. 6: 46 – 78.
- 13) MA, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Millennium Ecosystem Assessment. Island Press, Washington DC, USA, 160p.

- 14) MINISTERE DE L'ÉCOLOGIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE (MEDD) ET AGENCES DE L'EAU (AE), 2003. *Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau*. Version 2. MEDD. France, 40p.
- 15) MORAT, P. 1973. Les savanes Sud-Ouest. Mémoire ORSTOM n° 68. Paris. 235p.
- 16) MU, Q.; ZHAO, M.; AND RUNNING, S. 2011. Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm. *Remote Sensing of Environment*. vol. 115, no. 8, pp: 1781–1800.
- 17) ONE-DGF, FTM, MNP et CI, 2013. *Evolution de la couverture de forêt naturelle à 2005-2010*. Antananarivo, 42 p.
- 18) ONU, 1993. *Comptabilité économique environnementale intégrée. Manuel de comptabilité nationale*. Etudes méthodologiques. Série F, No 61. Organisation des Nations Unies, New York, USA, 293p.
- 19) ONU, 2007. *Système de comptabilité économique et environnementale de l'eau*. Organisation des Nations Unies, New York, USA, 229p.
- 20) ONU, 2009. *Système de comptabilité nationale 2008*, Version préliminaire. Organisation des Nations Unies, New York, USA, 751p.
- 21) PETIT, A.J. 1995. Madagascar par sa flore. 2<sup>ème</sup> édition. Saint-Denis, 48p.
- 22) POSTEL, S. DAILY, G. AND ERLICH, P. 1996. Human appropriation of renewable freshwater, *Science* 271: 785–788.
- 23) PROJET PILOTE BIOCULTUREL ANTREMA, 2005. *Diagnostic physico-écobiologique et socio-économico-culturel de la station forestière à usage multiple d'Antrema péninsule de Katsepy*. Parc Zoologique de Paris/Faculté des Sciences Antananarivo, 80p. + Annexes.
- 24) RABEMANANJARA, T.H.E. 2009. *Etude de faisabilité écotouristique de la station forestière à usage multiple d'Antrema-Katsepy (Region Boeny)*. Mém. de DESS. Faculté des Sciences, Université d'Antananarivo, 72p. + Annexes.
- 25) RAFARALAHY, T.Z. 2012. *Rapport sur l'état de l'Environnement à Madagascar, Chapitre 3 : Eau*. MEAH, Antananarivo, 40p.
- 26) RAJERARISON, C. ET FARAMALALA, M.H. 1999. *Nomenclature des formations végétales de Madagascar*. ANGAP. Antananarivo, 42p.
- 27) RAKOTONDRAIVO, M.D.D. 2010. *Etude de la filière vannerie dans la Station Forestière à Usage Multiple d'Antrema (Région Boeny) : Cas de Bismarckia nobilis Hild et Wendl ou "Satrana" (Arecaceae) comme une activité génératrice de revenu féminine*. Mém. DESS, Biologie de Conservation. Univ. Antananarivo, 87p. + Annexes.

- 28) RAKOTONDRASATA, N.A. 2014. *Evaluation écologique des lacs de la Nouvelle Aire Protégée d'Antrema (Région Boeny-Madagascar) en vue d'aménagement piscicole*. Mém. DESS, Biologie de Conservation. Univ. Antananarivo, 49p. + Annexes.
- 29) RAMAMONJIHASINA, M.M. 2013. *Les mangroves de la Station Forestière d'Antrema: Ecologie, menaces et pressions, utilisations locales*. Mém. DEA, Ecologie Végétale. Univ. Antananarivo, 83p. + Annexes.
- 30) RAMIHANGIHASON, T.A. 2015. *Apport de la télédétection et du système d'information géographique dans l'établissement de la comptabilité des écosystèmes*. Mém. Master, Mention Physique et Application. Univ. Antananarivo, 75p. + Annexes
- 31) RANDRIANJAFY, J.N. 1999. Rapport de mission sur les formations végétales d'Antrema. Projet Pilote Bio-Culturel d'Antrema, 2p.
- 32) RAVELONJATOVO, J. 2014. *Evaluation des stocks de carbone aérien et racinaire des mangroves des baies d'Ambanja-Ambaro dans le Nord-Ouest de Madagascar*. Mémoire DEA. Option Ecologie Végétale. Faculté des Sciences. Univ. Antananarivo, 87p. + Annexes.
- 33) RAZAIARIMINO, R. 2009. *Schéma d'aménagement et plan de gestion de la Station Forestière à Usage Multiple d'Antrema en vue d'une intégration dans le SAPM*. Mém. DESS-SE, Biologie de Conservation. Univ. Antananarivo, 90p. + Annexes.
- 34) ROGER, E. GAUTHIER, C.A., RAKOTONDRAVONY, D. ET RAZAFINDRAMANANA, S. 2000. *Diagnostic physico-éco-biologique de la station forestière à usage multiple d'Antrema*. Parc zoologique de Paris / Faculté des Sciences Antananarivo / MEF, 187p.
- 35) STUBER, A. 2008. Valeurs naturelles et paysagères : outil d'évaluation. Marche à suivre, indications pour les relevés et l'évaluation. Annexe de la communication de l'OFEV « *Parcs d'importance nationale. Lignes directrices pour la planification, la création et la gestion des parcs* ». L'environnement pratique n° 0802. OFE, Berne, 47p.
- 36) TIETENBERG, T., LEWIS, L., NACCACHE, PH., GALLO, J. et MAULEON, F. 2013. Economie de l'environnement et développement durable. *Nouveaux horizons*. 6e édition, 390p.
- 37) UN, 1992. *Agenda 21: Programme of Action for Sustainable Development*. United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, 3–14 June 1992. United Nations, New York, USA, 329p.
- 38) UN, 2013. *System of Environmental-Economic Accounting 2012: Experimental Ecosystem Accounting*. White cover publication, pre-edited text subject to official editing. United Nations, New York, USA, 198p.

- 39) WEBER, 1987. Ecologie et statistique : les comptes du patrimoine naturel. *Journal de la Société de Statistiques de Paris*. t. 128, pp: 137-162.
- 40) WEBER, 2014. *Experimental Ecosystems Natural Capital Accounts, Mauritius Case Study Methodology and Preliminary Results 2000-2010*. Commission de l'Océan Indien. Maurice, 48p. + Annexes.

**REFERENCES WEBOGRAPHIQUES:**

- <http://ec.europa.eu/environment/nature/knowledge/> (Consulté en Février 2016).
- <http://fr.allAfrica.com/stories> (Afrique Australe: Gaborone) (Consulté en Août 2016).
- <http://siteresources.worldbank.org/> (Consulté en Février-Mai 2016).
- <http://unstats.un.org/unsd/envaccounting/> (Consulté en Février-Mai 2016).
- <http://www.cbd.int/> (Consulté en Février-Juillet 2016).
- <http://www.eea.europa.eu/publications/> (Consulté en Février-Septembre 2016).
- <http://www.fao.org/> (Consulté en Août 2016).
- <http://www.iucnredlist.org>. (Consulté en Septembre 2016).
- <http://www.millenniumassessment.org/documents/> (Consulté en Août 2016).
- <http://www.ntsg.umt.edu/project/mod16> (Consulté en Avril 2016).
- <http://www.rebioma.net/> (Consulté en Janvier 2016).
- <http://www.risques.météo.edu> (Consulté en Février 2016).
- <http://www.waterfootprint.org/> (Consulté en juin 2016).

# **ANNEXES**

---

**ANNEXE 1: FICHE D'ENQUETE SUR LES PLANTES**

Date.....

Auteur.....

Lieu.....

Numéro de relevé .....

**Informateur :**

Age : .....

Profession : .....

Situation familiale : Célibataire  Marié Sexe : Masculin  Féminin Niveau académique : Néant  Primaire  Secondaire  Universitaire Localité :  
\_\_\_\_\_**Matériel végétal :**

Nom vernaculaire : .....

Nom scientifique : .....

Type de plante : Sauvage  Cultivée  Adventice 

Usage de la plante :

Thérapeutique  Cosmétique  Autres  alimentaire  phytopharmaceutique Bois énergie  bois d'œuvre  bois de service  magicoreligieux Technique de la récolte : Manuel  Mécanique 

Moment de la récolte (saison) : .....

Plante seule  Association possible (de plantes)  : .....État de la plante : Fraîche  Desséché  Après traitement 

Si desséché, méthode de séchage : .....

Partie utilisée : Tige  Fleurs Fruits  Graine  Écorce  Rhizome  Bulbe Feuilles  Plante entière  Autres combinaisons  : .....

Volume / quantité utilisé (par jour/mois/année):.....

Forme d'emploi : Tisane  Poudre  Huiles essentielles Huiles grasses  Extrait (teinture, fibre, solution, gélule)  : .....Mode de préparation si plante médicinale: Infusion  Décoction  Cataplasme  Cru  Cuit 

Autres.....

**ANNEXE 1: FICHE D'ENQUETE SUR LES PLANTES (Suite)**

Dose utilisée : Pincée  poignée  Cuillerée

Dose précise : Quantité en g / verre : .....

Quantité en g/ litre : .....

Autres : .....

Posologie : nombre de prises par jour.

Pour les enfants : 1fois/jour  2fois/jour  3fois/jour  Autres  : .....

Pour les personnes âgées : 1fois/jour  2fois/jour  3fois/jour  Autres  : .....

Pour les Adultes : 1 fois/jour  2fois/jour  3fois/jour  Autres  : .....

Durée d'utilisation (durée de traitement) :

Un jour  Une semaine  Un mois  Jusqu'à la guérison

Méthode de conservation :

A l'abri de la lumière  Exposé à la lumière  Autres  : .....

Utilisations :

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Autres observations :

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

**ANNEXE 2: FICHE D'ENQUETE SUR LES LACS ET L'UTILISATION DES EAUX**

Date.....

Auteur.....

Lieu.....

Numéro de relevé .....

***Informateur :***

Age : .....

Profession : .....

Situation familiale : Célibataire  Marié Sexe : Masculin  Féminin Niveau académique : Néant  Primaire  Secondaire  Universitaire 

Localité :

**SUR LES LACS :**

Nom du lac	Profondeur en saison sèche	Profondeur en saison humide	Permanent/ Non permanent	Tabous

**SUR L'UTILISATION DES EAUX :**

Type d'eau utilisée : Lac ? Rivière ? Eau souterraine ?

Utilisation : Consommation ? Autres ?

Quantité prélevée par jour ?

Quantité rejetée par jour ?

Problèmes rencontrés ?

Propositions selon vous ?

Prélèvement d'eau de pluie ? Utilisation ?

Prélèvement d'eau de mer ? Utilisation ?

**ANNEXE 3: FICHE D'ENQUETE SUR LES EXPORTATIONS ET IMPORTATIONS**

Date.....

Auteur.....

Lieu.....

Numéro de relevé .....

---

***Informateur :***

Age : .....

Profession : .....

Situation familiale : Célibataire  Marié

Sexe : Masculin  Féminin

Niveau académique : Néant  Primaire  Secondaire  Universitaire

Localité :

---

Etes-vous un exportateur/importateur ?

Quel sont les types de produit que vous exportez/importez ?

Quantité exportée/importée ?

Prix ?

Lieu d'exportation/importation ?

Période d'exportation/importation ?

Ça fait déjà combien de temps que vous exportez/importez ces produits ?

Avez-vous des problèmes rencontrés ? Comment et quoi ?

Propositions selon vous ?

**ANNEXE 4: Précipitation (mm) et température (°C) mensuelles de la NAP Antrema de 2004 à 2014**  
 (source : service de la météorologie d'Antananarivo)

PRÉCIPITATION ET TEMPERATURE MENSUELLES 2004 - 2014												
2014												
	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	SEPT	OCT	NOV	DEC
Pluies	501,9	354,2	291,7	17	0	0	8	0	0	0	57,7	120,7
Nb jours	19	19	13	3	0	0	1	0	0	0	6	13
T° max	30,7	30,6	32,8	32,9	32,4	31,8	31,6	32	32,8	32,3	33,1	31,9
T° min	24,2	24,1	24	23	21	19,8	19,7	19,8	20,4	22,6	24,3	24,3
2013												
	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	SEPT	OCT	NOV	DEC
Pluies	350,6	223,9	14	16,6	0	0	0	0	0	2,5	53	166,1
Nb jours	15	15	5	5	0	0	0	0	0	1	7	10
T° max	32,2	31,2	33,2	33,4	32,8	31	31	31,6	32,7	33,1	33,3	32,1
T° min	24,6	24,6	24,8	23,7	21,5	19	18,4	19,1	20,3	22,9	24,5	24,5
2012												
	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	SEPT	OCT	NOV	DEC
Pluies	561,2	175,8	54,4	164,9	6,4	1,4	0	0	0	38,8	42,3	58,7
Nb jours	24	16	11	11	2	1	0	0	0	4	8	12
T° max	30,2	31	31,8	32,5	31,9	30,9	30,3	31,9	32,8	32,7	32,5	33
T° min	24,2	24,6	24,2	23,7	21,5	19,5	18,5	18,9	20,6	22,2	24,6	25,1
2011												
	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	SEPT	OCT	NOV	DEC
Pluies	671	360,3	205,4	31,6	5,3	0,8	0	0	0	1,7	12,1	145
Nb jours	23	20	15	7	1	2	0	0	0	2	6	12
T° max	31,3	30,9	32,2	32,8	32,5	31,6	30,6	31,2	33	32,8	32,9	32,3
T° min	23,7	24,3	23,9	24,2	22,2	20,2	18,8	19,4	21,2	23,6	25	24,8
2010												
	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	SEPT	OCT	NOV	DEC
Pluies	670	123,2	127,8	4,1	0	0	0	0,9	0	30	86,4	122,7
Nb jours	27	14	9	2	0	0	0	1	0	1	4	7
T° max	31,3	32,2	32,2	34,5	33,7	32,6	31,5	32,1	32,4	32,4	33,3	31,1
T° min	24,6	24,7	25,2	23,8	22,9	21	19,2	19,3	19,9	22,9	24,4	24,3
2009												
	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	SEPT	OCT	NOV	DEC
Pluies	207,8	341,5	180,7	43,5	0	0	0	0	0	2,9	10,6	186,1
Nb jours	19	13	16	6	0	0	0	0	0	3	5	11
T° max	31,5	32	31,8	32,3	32,1	31,8	30,9	31,4	32,2	32,2	33,7	33
T° min	14,4	24,1	24,4	23,5	21	20	19,3	19,8	21,6	23	24,7	25,2
2008												
	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	SEPT	OCT	NOV	DEC
Pluies	373,8	540,5	70,7	49,3	0	0	0	0	10,8	15,9	83,9	123,8
Nb jours	8	17	7	2	0	0	0	0	2	3	7	16
T° max	31,1	30,4	32,2	32,6	31,8	30,5	31		32,6	33,8	31,1	32,2
T° min	24,9	23,8	23,9	23,4	21,2	18,9	18,6		21,4	22,7	24,4	15,2
2007												
	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	SEPT	OCT	NOV	DEC
Pluies	333,6	495,4	292,9	6,5	0	0	0	0	6,7	27,9	157,4	245,1
Nb jours	23	23	7	3	0	0	0	0	2	2	6	14
T° max	31	30,2	32,2	33,5	33,3	31,2	31,1	31,9	32,9	33,6		
T° min	24,7	24,8	23,9	23,5	22,5	19,3	19,2	19,2	21	22,2		
2006												
	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	SEPT	OCT	NOV	DEC
Pluies	272,7	386	145,8	88,8	15,5	0	0	0	0	0	224,6	91
Nb jours	17	18	14	3	3	0	0	0	0	0	10	18
T° max	32,5	32,7	32,8	33,5	31,4	31,9	31,3	31,6	32,7	33,4	33,2	31
T° min	24,5	24,1	24,6	24,1	22,2	20,4	19,7	20	20,6	22,2	24,2	25,3
2005												
	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	SEPT	OCT	NOV	DEC
Pluies	139,6	120,8	191,2	1	2	0	14,4	0,5	4,2		38,8	308,7
Nb jours	14	9	9	1	1	0	3	1	2		7	20
T° max	31,6	32	32,1	33,3	32,9	32	30,6	31,5	32,6		32,5	30
T° min	23	25,5	23,1	24,1	22	20,1	18,7	18,4	20,5		23,8	24,9
2004												
mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	SEPT	OCT	NOV	DEC
Pluies	863,1	208,6	344,5	53,3	10,2	0,1	0	0	5	17,5	212,7	520,9
Nb jours	22	13	14	4	1	1	0	0	1	3	9	20
T° max	31,3	31,8	32,3	32,8	31,7	31	30,9	31,5	32,3	33,6	33,1	30,9
T° min	24,1	24,3	24,3	23,5	21,2	18,9	19	18,8	21,3	23,5	23,7	24,2

**ANNEXE 5:** Liste des lacs permanents (P) et non permanents (NP) dans la NAP Antrema

N°	NOMS DES LACS	PERMANENCE	SUPERFICIE (m <sup>2</sup> )	SUPERFICIE (ha)	PROFONDEUR (m)	VOLUME (m <sup>3</sup> )
1	LAC SAHARIAKA	P	699607	70	7	4897249
2	LAC MARO1	P	164938	16,5	3,5	577283
3	LAC MATSABORY BE	P	143123	14,3	6	858738
4	LAC BODOMERA	P	59819	5,98	3,2	191420,8
5	LAC KATOKO AMBALARANO	P	49864	4,99	5	249320
6	LAC BENANO	P	49685	4,97	4	198740
7	LAC MAROVONTAKA	P	49358	4,94	3,5	172753
8	LAC MANTAMOHOKA	P	40753	4,1	5	203765
9	LAC DOANY BE	P	37952	3,8	7	265664
10	LAC SAHARIAKA2	P	27467	2,75	0,6	16480,2
11	LAC ANTSAREZABE	P	26348	2,63	2,5	65870
12	LAC KAFO AMBALA	P	16203	1,62	4,1	66432,3
13	LAC MATSABORY KELY	P	16143	1,61	2,5	40357,5
14	LAC MARO2	P	15044	1,5	2	30088
15	LAC FALY ANTREMA	P	14494	1,45	1	14494
16	LAC ANDOLO	P	14383	1,44	6	86298
17	LAC MENA AMBALA	P	11922	1,19	5,2	61994,4
18	LAC SAHARIAKA1	P	11349	1,13	1	11349
19	LAC MALAY	P	11250	1,12	2,9	32625
20	LAC AMBONARA AMBALA	P	9979	1	5,5	54884,5
21	LAC MAKOABE AMBALA	P	9266	0,93	6	55596
22	LAC BELINTA	P	8500	0,85	7	59500
23	LAC MANAMBAKA	P	7006	0,7	0,3	2101,8
24	LAC BEKAPOKY	P	6012	0,6	2	12024
25	LAC MARO NP	NP	49541	4,95	3	148623
26	LAC MIHENA	NP	32387	3,24	0,5	16193,5
27	LAC BEAKAPOKA (Beankama)	NP	30995	3,1	1	30995
28	LAC HOALY ANTREMA	NP	27109	2,71	0,8	21687,2
29	LAC KAPAZO KELY	NP	17918	1,79	3	53754
30	LAC MATSATSO	NP	17156	1,72	1,7	29165,2
31	LAC AMBATO	NP	14630	1,46	4	58520
32	LAC MALAIMBATO	NP	14282	1,43	1,8	25707,6
33	LAC AMBONARA	NP	13373	1,34	2	26746
34	LAC KAPAZO MASOKOA	NP	11084	1,11	2,3	25493,2
35	LAC AN'ALA ( Beankama)	NP	9555	0,96	1,6	15288
36	LAC ANDOLO ANTREMA	NP	8487	0,85	1,3	11033,1
37	LAC BEOREFO	NP	8334	0,83	1,5	12501
38	LAC SATRA	NP	8134	0,81	2,5	20335
39	LAC AN'ALA (Daoro)	NP	7909	0,79	1,3	10281,7
40	LAC MOTRO	NP	5702	0,57	2	11404
41	LAC BEGODRO	NP	4650	0,46	3	13950
42	LAC KELY	NP	4210	0,42	1,2	5052
43	LAC VAZAHA AMBALA	NP	3942	0,39	1,6	6307,2
44	LAC TARANTA	NP	3611	0,36	2	7222
45	LAC MANTAMOHOKA1	NP	2351	0,24	2	4702
46	LAC RAIKIBO	NP	2329	0,23	1,2	2794,8
47	LAC FALY	NP	2292	0,23	8	18336
48	LAC TSIDRISO	NP	1002	0,1	1,2	1202,4

**ANNEXE 6:** Evapotranspiration spontanée réelle (Etr) de la NAP Antrema en 2004 et 2014

Types d'occupation du sol	Etr 2004 (mm/an)	Etr 2014 (mm/an)
Forêt	1188,6	718,3
Agriculture	805,5	486,8
Espace naturel	641,2	387,5
Plan d'eau	2991,8	1925,3
Espace artificiel	604,9	365,5

**ANNEXE 7:** Prélèvement d'eau par les ménages dans la NAP Antrema

NOM DES SECTEURS (7secteurs)	Type d'eau utilisé	Quantité d'eau utilisée (m <sup>3</sup> /an)			Quantité d'eau rejetée (m <sup>3</sup> /an)
		PUITS	RIVIERES	LACS	
1) ANTREMA ARANTA	PUITS ET VOVOTANY	492,75	-	-	246,375
2) ANTREMA ANDAFIROA	RIVIERE ET PUIITS	525,6	889,69	-	673,425
3) BAKO (BEANKAMA)	PUITS	1226,4	-	-	613,2
4) AMBANJABE	PUITS	892,8	-	-	446,4
5) AMPAMPAMENA ET ANTSOHERIMASIBA	PUITS	591,3	-	-	295,65
6) KAPAZO ET AMPAMBABE	VOVOTANY	788,4	-	-	394,2
7) MASOKOAMENA ET AMBALARANO	LACS	-	-	1352,325	624,15
ANTSIKIRY	VOVOTANY	525,6	-	-	262,8
BEANKAMA	VOVOTANY	492,75	-	-	246,375
<b>TOTAL NAP ANTREMA</b>		<b>5533,6</b>	<b>889,69</b>	<b>1352,325</b>	<b>3802,575</b>

**ANNEXE 8:** Eau virtuelle dans les produits importés à Antrema

PRODUITS	Eau virtuelle (litre)	Quantité de produits importés/an	Volume d'eau virtuelle (m <sup>3</sup> /an)
1KG DE CACAO	27000	120 kg	3240000
1KG DE CAFE TORREFIE	21000	600 kg	12600000
1KG DE BŒUF	15500	1200 kg	18600000
1 JEAN	11000	1000 jean	11000000
1L d'huile végétale	5000	6000 l	30000000
1KG DE FROMAGE	4914	5 kg	24570
1POULET	4100	50 poulets	205000
1T-SHIRT EN COTON	4000	2000 t-shirt	8000000
1KG DE PATE	1900	600 kg	1140000
1KG DE RIZ	1900	131400 kg	249660000
1kg de pomme de terre	900	1200 kg	1080000
1L DE LAIT	800	240 l	192000
1kg de maïs	700	600 kg	420000
1OEUF	200	6000 œufs	1200000
1KG DE TOMATE	185	6000 kg	1110000
1TASSE DE THE	30	91250	2737500
1FEUILLE DE PAPIER A4	10	1500 feuille	15000
1L D'EAU MINERALE	3	18000 l	54000

ANNEXE 9: TABLEAU DETAILLE DU COMPTE EAU 2004 (unité en m<sup>3</sup>)

Types d'actifs du SCEE-Eau		Lacs et réservoirs	Rivières et autres cours d'eau	Eaux souterraines	Sol et végétation	Total eau intérieur
<b>I. Bilan de base de la ressource en eau écosystémique</b>						
<b>W1</b>	<b>Stocks d'ouverture</b>	<b>9473946,3</b>	<b>669801894</b>	<b>4688772480</b>		<b>5368048320</b>
W21	Précipitations	3894490,62	2414772		450418030,4	456727293
W221	Ruissellement de surface vers les rivières		28271563,6			28271563,6
W222	Infiltration/percolation			254444072,4		254444072,4
W22	Entrées d'eau internes spontanées [transferts]		28271563,6	254444072,4		282715636
W23	Apports naturels provenant de territoires en amont		488105222			488105222
W241	Apports artificiels d'eau provenant d'autres territoires					
W242	Prélèvement d'eau de mer	190,5				190,5
W24	Apports artificiels d'eau depuis d'autres territoires et depuis la mer	190,5				190,5
W252	Retour/rejet des eaux usées non traitées/après usage				2604,8	2604,8
W25	Retour/rejet des eaux usées dans les eaux intérieures				2604,8	2604,8
W261	Pertes d'eau lors du transport et du stockage	46,34	30,48		189,5	266,32
W262	Eau d'irrigation	8802321,4	59988305,45			68790626,85
W26	Autres retours d'eau vers les eaux intérieures	8802367,74	59988335,93		189,5	68790893,17
<b>W2</b>	<b>Total des apports et retours d'eau [augmentation des stocks] = SUM(W21 to W26)</b>	<b>12697048,9</b>	<b>578779893,6</b>	<b>254444072,4</b>	<b>450420825</b>	<b>1296341840</b>
W311	Évapotranspiration spontanée réelle provenant de l'agriculture pluviale et des pâturages				322200	322200
W312	Évapotranspiration spontanée réelle des forêts				75868338	75868338
W313	Évapotranspiration spontanée réelle des espaces naturels				87305792	87305792
W314	Évaporation spontanée réelle des plans d'eau	5211715,6	2716554,4			7928270
W315	Évaporation spontanée réelle des espaces artificiels				60490	60490
W31	Évapotranspiration spontanée réelle	5211715,6	2716554,4		163556820	171485090
W321	Ruissellement de surface vers les rivières		28271563,6			28271563,6
W322	Infiltration/percolation			254444072,4		254444072,4
W32	Sorties d'eau internes spontanées [transferts]		28271563,6	254444072,4		282715636
W331	Écoulements naturels vers les territoires en aval		7458739,2			7458739,2
W332	Écoulements naturels vers la mer		232511350			232511350
W33	Écoulements naturels vers les territoires en aval et vers la mer		239970089,2			239970089,2
W342	Prélèvement pour compte propre dans l'agriculture (y compris irrigation)	895429,2	62988108,8	109		63883647
W345	Prélèvement pour compte propre des municipalités et des ménages	926,7	609,6	3790,5		5326,8
W34	Prélèvements dans les masses d'eau	896355,9	62988718,4	3899,5		63888973,8
W351	Collecte des eaux de pluie					41,3
W35	Prélèvement/collecte des eaux de pluie et du ruissellement urbain					41,3
W36	Évapotranspiration réelle induite par l'irrigation	198952,8723	12597544,15			12796497,02
W37	Évaporation provenant de l'industrie et d'autres utilisations					
W381	Rejet artificiel des eaux non traitées dans la mer					181
W382	Autre écoulement artificiel vers d'autres territoires et dans la mer					181
W38	Écoulement artificiel des eaux vers d'autres territoires et dans la mer					181
W39	Autre variation du volume des stocks et ajustements (+ ou -)	14968,58542	3779313,129	194,975		3794487,805
<b>W3</b>	<b>Total des sorties d'eau [diminution des stocks] = SUM(W31 to W39)</b>	<b>6321992,96</b>	<b>350323782,9</b>	<b>254448166,9</b>	<b>163556820</b>	<b>774650996,1</b>
<b>W4a</b>	<b>Pluie efficace disponible = W21-W31</b>	<b>-1317224,98</b>	<b>-301782,4</b>		<b>286861210,4</b>	<b>285242203</b>
<b>W4</b>	<b>Accumulation nette d'eau écosystémique [ANEE] = W2-W3</b>	<b>6375055,902</b>	<b>228456110,7</b>	<b>-4094,475</b>	<b>286864004,7</b>	<b>521690843,4</b>
<b>W5</b>	<b>Stocks de clôture= W1+W4</b>	<b>15849002,2</b>	<b>898258004,7</b>	<b>4688768386</b>	<b>286864005</b>	<b>5889739164</b>

ANNEXE 9: TABLEAU DETAILLE DU COMPTE EAU 2004 (unité en m<sup>3</sup>) (Suite)

II. Compte de la ressource écosystémique accessible						
W21	Précipitations	3894490,62	2414772		450418030,4	456727293
W22	Entrées d'eau internes spontanées [transferts]		28271563,6	254444072,4		282715636
W23	Apports naturels provenant de territoires en amont		488105222			488105222
<b>W2a</b>	<b>Ressources totales en eau naturelles renouvelables (RTENR) = W21+W22+W23</b>	<b>3894490,62</b>	<b>518791557,6</b>	<b>254444072,4</b>	<b>450418030,4</b>	<b>1227548151</b>
W24	Apports artificiels d'eau depuis d'autres territoires et depuis la mer	190,5				192,73
W25	Retour/rejet des eaux usées dans les eaux intérieures				2604,8	2604,8
W26	Autres retours d'eau vers les eaux intérieures	8802367,74	59988335,93		189,5	68790893,17
<b>W2b</b>	<b>Ressources totales en eau secondaires = W24+W25+W26</b>	<b>8802558,24</b>	<b>59988335,93</b>		<b>2794,3</b>	<b>68793690,7</b>
W32	Sorties d'eau internes spontanées [transferts]		28271563,6	254444072,4		282715636
W33	Écoulements naturels vers les territoires en aval et vers la mer		239970089,2			239970089,2
<b>W6</b>	<b>Ressources en eau primaires et secondaires nettes = W2a+W2b-W32-W33</b>	<b>12697048,9</b>	<b>310538240,8</b>		<b>450420825</b>	<b>773656116,5</b>
W1a	Stock de base accessible reporté à nouveau des années précédentes [+]	3677534	259999329			263676863
W711	Ressources en eau renouvelables irrégulières (régulières si > 90 % du temps) (-)	-779090,5	-175607564			-176386654,5
W715	Ressources en eau naturelles inutilisables pour des raisons de qualité (y compris salinité) (-)	-198152,4	-265485114			-265683266,4
W716	Ressources en eau reculées inaccessibles (-)	-594381,5	-132742556			-133336937,5
W717	Ressources en eau renouvelables irrégulières exploitables/stockage annuel (+)	652820,4	158046807			158699627,4
W71	Total des ajustements des ressources en eau naturelles renouvelables (+ ou -)	-918804	-415788427			-416707231
W39	Autre variation du volume des stocks et ajustements (+ ou -)					
<b>W7a</b>	<b>Ressources en eau naturelle exploitables = W2a+W1a+W71+W39</b>	<b>6653220,62</b>	<b>363002459,6</b>	<b>254444072,4</b>	<b>450418030,4</b>	<b>1074517783</b>
W721	Ressources en eau secondaires inutilisables pour des raisons de qualité (-)	-190,5			-2604,8	-2795,3
W722	Autres ajustements d'accessibilité des eaux secondaires (+ ou -)					
W72	Total des ajustements des ressources en eau secondaires renouvelables	-190,5			-2604,8	-2795,3
<b>W7b</b>	<b>Ressources en eau secondaires exploitables = W2b+W72</b>	<b>8802367,74</b>	<b>59988335,93</b>		<b>189,5</b>	<b>68790895,4</b>
<b>W7</b>	<b>Excédent net d'eau accessible dans l'écosystème [ENEAE] = W7a+W7b</b>	<b>15455588,4</b>	<b>422990795,6</b>	<b>254444072,4</b>	<b>450418220</b>	<b>1143308678</b>
III. Compte de l'utilisation totale de l'eau						
W342	Prélèvement pour compte propre dans l'agriculture (y compris irrigation)	895429,2	62988108,8	109		63883647
W345	Prélèvement pour compte propre des municipalités et des ménages	926,7	609,6	3790,5		5326,8
W81	Prélèvements dans les masses d'eau (W81 = W34)	896355,9	62988718,4	3899,5		63888973,8
W82	Prélèvement/collecte du ruissellement urbain (W84 = W352)					
W83	Collecte des eaux de pluie (W84 = W351)					41,3
W311	Évapotranspiration spontanée réelle provenant de l'agriculture pluviale et des pâturages				322200	322200
W312	Évapotranspiration spontanée réelle des forêts				75868338	75868338
W84	Utilisation d'eau 'verte' par l'agriculture et la foresterie = W311+W312				76190538	76190538
<b>W8</b>	<b>Utilisation totale de la ressource en eau écosystémique [UTE]</b>	<b>896355,9</b>	<b>62988718,4</b>	<b>3899,5</b>	<b>76190538</b>	<b>140079553,1</b>
W91	Apports artificiels d'eau provenant d'autres territoires (W91=W241)					2,23
W92	Prélèvement d'eau de mer (W92=W242)	190,5				190,5
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					20
W96	Exportation d'eau/contenu des marchandises et des résidus					20,3
<b>W9</b>	<b>Utilisation directe d'eau = W8+W91+W92+W93+W94+W95</b>	<b>896546,4</b>	<b>62988718,4</b>	<b>3899,5</b>	<b>76190538</b>	<b>140079786,1</b>
<b>W10</b>	<b>Consommation intérieure d'eau = W9-W96</b>	<b>896546,4</b>	<b>62988718,4</b>	<b>3899,5</b>	<b>76190538</b>	<b>140079765,8</b>
W11	Eau virtuelle incorporée dans les marchandises importées					307150,2
<b>W12</b>	<b>Exigence totale en eau = W9+W11</b>	<b>896546,4</b>	<b>62988718,4</b>	<b>3899,5</b>	<b>76190538</b>	<b>140386936,3</b>
IV. Tableau des indices d'intensité d'utilisation et de santé écosystémique						
<b>W7</b>	<b>Excédent net d'eau accessible dans l'écosystème [ENEAE] = W7a+W7b</b>	<b>15455588,36</b>	<b>422990795,6</b>	<b>254444072,4</b>	<b>450418219,9</b>	<b>1143308678</b>
<b>W8</b>	<b>Utilisation totale de la ressource en eau écosystémique [UTE]</b>	<b>896355,9</b>	<b>62988718,4</b>	<b>3899,5</b>	<b>76190538</b>	<b>140079553,1</b>
<b>W13 [ISUE]</b>	<b>Intensité soutenable de l'utilisation des ressources en eau écosystémiques = W7/W8</b>	<b>17,2426916</b>	<b>6,715342149</b>	<b>65250,43529</b>	<b>5,91173434</b>	<b>8,161852698</b>

ANNEXE 10: TABLEAU DETAILLE DU COMPTE EAU 2014 (unité en m<sup>3</sup>)

Types d'actifs du SCEE-Eau		Lacs et réservoirs	Rivières et autres cours d'eau	Eaux souterraines	Sol et végétation	Total eaux intérieures
<b>I. Bilan de base de la ressource en eau écosystémique</b>						
<b>W1</b>	<b>Stocks d'ouverture</b>	<b>8802321,4</b>	<b>608910813</b>	<b>4688772480</b>		<b>5306485614</b>
W21	Précipitations	2434727,3	1141764		272433132,7	276009624
W221	Ruissellement de surface vers les rivières		17100802			17100802
W222	Infiltration/percolation			153907225		153907225
W22	Entrées d'eau internes spontanées [transferts]		17100802	153907225		171008027
W23	Apports naturels provenant de territoires en amont		447802956			447802956
W241	Apports artificiels d'eau provenant d'autres territoires					
W242	Prélèvement d'eau de mer	278,1				278,10
W24	Apports artificiels d'eau depuis d'autres territoires et depuis la mer	278,10				278,10
W251	Retour/rejet des eaux usées traitées					
W252	Retour/rejet des eaux usées non traitées/après usage				3802,6	3802,6
W25	Retour/rejet des eaux usées dans les eaux intérieures				3802,6	3802,6
W261	Pertes d'eau lors du transport et du stockage	67,6	44,5		276,7	388,8
W262	Eau d'irrigation	9473946,3	66653672			76127618,3
W26	Autres retours d'eau vers les eaux intérieures	9474013,9	66653716,5		276,7	76128007,1
<b>W2</b>	<b>Total des apports et retours d'eau [augmentation des stocks] = SUM(W21 to W26)</b>	<b>11909019,30</b>	<b>532699238,50</b>	<b>153907225,00</b>	<b>272437212,02</b>	<b>970952694,82</b>
W311	Évapotranspiration spontanée réelle provenant de l'agriculture pluviale et des pâturages				228796	228796
W312	Évapotranspiration spontanée réelle des forêts				44742907	44742907
W313	Évapotranspiration spontanée réelle des espaces naturels				53227000	53227000
W314	Évaporation spontanée réelle des plans d'eau	3469390,6	1663459,2			5132849,8
W315	Évaporation spontanée réelle des espaces artificiels				124270	124270
W31	Évapotranspiration spontanée réelle	3469390,6	1663459,2		98322973	103455822,8
W321	Ruissellement de surface vers les rivières		17100802			17100802
W322	Infiltration/percolation			153907225,6		153907225,6
W32	Sorties d'eau internes spontanées [transferts]		17100802	153907225,6		171008027,6
W331	Écoulements naturels vers les territoires en aval		6842880			6842880
W332	Écoulements naturels vers la mer		223901478			223901478
W33	Écoulements naturels vers les territoires en aval et vers la mer		230744358			230744358
W342	Prélèvement pour compte propre dans l'agriculture (y compris irrigation)	994921,4	69986787,6	121		70981830
W345	Prélèvement pour compte propre des municipalités et des ménages	1352,4	889,7	5533,6		7775,7
W34	Prélèvements dans les masses d'eau	996273,8	69987677,3	5654,6		70989605,7
W351	Collecte des eaux de pluie					60,24
W352	Prélèvement/collecte du ruissellement urbain					
W35	Prélèvement/collecte des eaux de pluie et du ruissellement urbain					60,24
W36	Évapotranspiration réelle induite par l'irrigation	198952,8	13997271,3			14196224,1
W37	Évaporation provenant de l'industrie et d'autres utilisations					
W381	Rejet artificiel des eaux non traitées dans la mer					264,1
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					264,1
W39	Autre variation du volume des stocks et ajustements (+ ou -)	59056,13	4199247,43	282,73		4258602,507
<b>W3</b>	<b>Total des sorties d'eau [diminution des stocks] = SUM(W31 to W39)</b>	<b>4723673,33</b>	<b>337692815,2</b>	<b>153913162,9</b>	<b>98322973</b>	<b>594652965</b>
<b>W4a</b>	<b>Pluie efficace disponible = W21-W31</b>	<b>-1034663,3</b>	<b>-521695,2</b>		<b>174110159,7</b>	<b>172553801,2</b>
<b>W4</b>	<b>Accumulation nette d'eau écosystémique [ANEE] = W2-W3</b>	<b>7185345,97</b>	<b>195006423,27</b>	<b>-5937,89</b>	<b>174114239,02</b>	<b>376299729,81</b>
<b>W5</b>	<b>Stocks de clôture= W1+W4</b>	<b>15987667,37</b>	<b>803917236,27</b>	<b>4688766542,11</b>	<b>174114239,02</b>	<b>5682785344,21</b>

ANNEXE 10 : TABLEAU DETAILLE DU COMPTE EAU 2014 (unité en m<sup>3</sup>) (Suite)

II. Compte de la ressource écosystémique accessible						
W21	Précipitations	2434727,3	1141764		272433132,7	276009624
W22	Entrées d'eau internes spontanées [transferts]		17100802	153907225		171008027
W23	Apports naturels provenant de territoires en amont		447802956			447802956
<b>W2a</b>	<b>Ressources totales en eau naturelles renouvelables (RTENR) = W21+W22+W23</b>	<b>2434727,3</b>	<b>466045522</b>	<b>153907225</b>	<b>272433132,7</b>	<b>894820607</b>
W24	Apports artificiels d'eau depuis d'autres territoires et depuis la mer	278,1				278,1
W25	Retour/rejet des eaux usées dans les eaux intérieures				3802,6	3802,6
W26	Autres retours d'eau vers les eaux intérieures	9474013,9	66653716,5		276,7	76128007,1
<b>W2b</b>	<b>Ressources totales en eau secondaires = W24+W25+W26</b>	<b>9474292</b>	<b>66653716,5</b>		<b>4079,3</b>	<b>76132087,8</b>
W32	Sorties d'eau internes spontanées [transferts]		17100802	153907225		171008027,6
W33	Écoulements naturels vers les territoires en aval et vers la mer		230744358			230744358
<b>W6</b>	<b>Ressources en eau primaires et secondaires nettes = W2a+W2b-W32-W33</b>	<b>11909019,3</b>	<b>284854078,5</b>		<b>272437212</b>	<b>569200309,3</b>
W1a	Stock de base accessible reporté à nouveau des années précédentes [+]	3416827,6	236363026			239779853,6
W711	Ressources en eau renouvelables irrégulières (régulières si > 90 % du temps) (-)	-577293,9	-161107857			-161685150,9
W715	Ressources en eau naturelles inutilisables pour des raisons de qualité (y compris salinité) (-)	-379680,8	-243564325			-243944005,8
W716	Ressources en eau reculées inaccessibles (-)	-451261,6	-121782162			-122233423,6
W717	Ressources en eau renouvelables irrégulières exploitables/stockage annuel (+)	494997,4	144997071,3			145492068,7
W71	Total des ajustements des ressources en eau naturelles renouvelables (+ ou -)	-913238,9	-381457272,7			-382370511,6
W39	Autre variation du volume des stocks et ajustements (+ ou -)					
<b>W7a</b>	<b>Ressources en eau naturelle exploitables = W2a+W1a+W71+W39</b>	<b>4938316</b>	<b>320951275,3</b>	<b>153907225</b>	<b>272433132,7</b>	<b>752229949</b>
W721	Ressources en eau secondaires inutilisables pour des raisons de qualité (-)	-278,1			-3802,6	-4080,7
W722	Autres ajustements d'accessibilité des eaux secondaires (+ ou -)					
W72	Total des ajustements des ressources en eau secondaires renouvelables	-278,1			-3802,6	-4080,7
<b>W7b</b>	<b>Ressources en eau secondaires exploitables = W2b+W72</b>	<b>9474013,9</b>	<b>66653716,5</b>		<b>276,7</b>	<b>76128007,1</b>
<b>W7</b>	<b>Excédent net d'eau accessible dans l'écosystème [ENEAE] = W7a+W7b</b>	<b>14412329,9</b>	<b>387604991,8</b>	<b>153907225</b>	<b>272433409,4</b>	<b>828357956,1</b>
III. Compte de l'utilisation totale de l'eau						
W342	Prélèvement pour compte propre dans l'agriculture (y compris irrigation)	994921,4	69986787,6	121		70981830
W345	Prélèvement pour compte propre des municipalités et des ménages	1352,4	889,7	5533,6		7775,7
W81	Prélèvements dans les masses d'eau (W81 = W34)	996273,8	69987677,3	5654,6		70989605,7
W82	Prélèvement/collecte du ruissellement urbain (W84 = W352)					
W83	Collecte des eaux de pluie (W84 = W351)					60,24
W311	Évapotranspiration spontanée réelle provenant de l'agriculture pluviale et des pâturages				228796	228796
W312	Évapotranspiration spontanée réelle des forêts				44742907	44742907
W84	Utilisation d'eau 'verte' par l'agriculture et la foresterie = W311+W312				44971703	44971703
<b>W8</b>	<b>Utilisation totale de la ressource en eau écosystémique [UTEE]</b>	<b>996273,8</b>	<b>69987677,3</b>	<b>5654,6</b>	<b>44971703</b>	<b>115961368,9</b>
W91	Apports artificiels d'eau provenant d'autres territoires (W91=W241)					2,8
W92	Prélèvement d'eau de mer (W92=W242)	278,1				278,1
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					24
W96	Exportation d'eau/contenu des marchandises et des résidus					21,2
<b>W9</b>	<b>Utilisation directe d'eau = W8+W91+W92+W93+W94+W95</b>	<b>996551,9</b>	<b>69987677,3</b>	<b>5654,6</b>	<b>44971703</b>	<b>115961673,8</b>
<b>W10</b>	<b>Consommation intérieure d'eau = W9-W96</b>	<b>996551,9</b>	<b>69987677,3</b>	<b>5654,6</b>	<b>44971703</b>	<b>115961652,6</b>
W11	Eau virtuelle incorporée dans les marchandises importées					341278
<b>W12</b>	<b>Exigence totale en eau = W9+W11</b>	<b>996551,9</b>	<b>69987677,3</b>	<b>5654,6</b>	<b>44971703</b>	<b>116302951,8</b>
IV. Tableau des indices d'intensité d'utilisation et de santé écosystémique						
<b>W7</b>	<b>Excédent net d'eau accessible dans l'écosystème [ENEAE] = W7a+W7b</b>	<b>14412329,9</b>	<b>387604991,8</b>	<b>153907225</b>	<b>272433409,4</b>	<b>828357956,1</b>
<b>W8</b>	<b>Utilisation totale de la ressource en eau écosystémique [UTEE]</b>	<b>996273,8</b>	<b>69987677,3</b>	<b>5654,6</b>	<b>44971703</b>	<b>115961368,9</b>
<b>W13 [ISUE]</b>	<b>Intensité soutenable de l'utilisation des ressources en eau écosystémiques = W7/W8</b>	<b>14,47</b>	<b>5,54</b>	<b>27218,06</b>	<b>6,06</b>	<b>7,14</b>
W141	Oxygène dissous (mg/l O <sub>2</sub> )	1	1			1
W142	PH1	1	1			1
W143	Turbidité (NTU)	1	1			1
W14x	Autres...					
<b>W14 [ICES]</b>	<b>Indice composite du changement de l'état de santé de l'eau écosystémique</b>	<b>1</b>	<b>1</b>			<b>1</b>
<b>W15 (VUEI)</b>	<b>Valeur unitaire écosystémique interne (changt) = AVG(W13 [ISUE]+W14 [ICES])</b>	<b>7,73</b>	<b>3,27</b>	<b>13609,03</b>	<b>3,03</b>	<b>4,07</b>

## ANNEXE 11: NOTES SUR LE POTENTIEL ECOSYSTEMIQUE DU PAYSAGE

## A- INDICE DE FOND DE PAYSAGE VERT

Evaluation des paramètres	Degré d'artificialisation	Richesse biodiversité	Fonct écologique	Santé/Etat		
<b>coefficient</b>	0,5	0,5	0,25	0,25	<b>Valeur/7,5</b>	<b>Valeur/100</b>
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
Raphière	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: +++++						

## B- INDICE DE HAUTE VALEUR NATURELLE

Evaluation des paramètres	Perception du paysage	Qualité du biotope	Diversité du milieu (faune et flore)	Conservation des éléments historico-culturels		
<b>Coefficient</b>	<b>0,5</b>	<b>0,25</b>	<b>0,5</b>	<b>0,25</b>	<b>Valeur/6</b>	<b>Valeur/100</b>
Tanne	1	1	1	1	1,50	25,00
Sol nu	1	1	1	1	1,50	25,00
Village	4	1	1	4	3,75	62,50
Culture	3	1	1	3	3,00	50,00
Prairie/Savane	3	4	2	2	4,00	66,67
Raphière	2	2	3	4	4,00	66,67
Forêt dégradée	3	3	4	3	5,00	83,33
Mangrove dégradée	3	3	3	2	4,25	70,83
Lac	4	4	4	4	6,00	100,00
Forêt	4	4	4	4	6,00	100,00
Mangrove	4	4	3	3	5,25	87,50
Estuaire	4	4	4	3	5,75	95,83
Grands cours d'eau, drains principaux	2	2	3	3	3,75	62,50
Cours d'eau moyens, principaux affluents	2	2	3	3	3,75	62,50

Perception du paysage	Qualité du biotope	Diversité du milieu	Conservation des éléments historico-culturels
1: banal	1: Biotop reconnaissable, mais mal développé ;	1: 1 à 2 espèces rares et protégées	1: à peine conservé
2: intéressant	2: Biotop partiellement développé, mais sans intérêt particulier	2: 3 à 4 espèces rares et protégées	2: partiellement conservé
3: remarquable	3: Biotop bien développé, intéressant ;	3: 5 à 6 espèces rares et protégées	3: bien conservé
4: unique, exemplaire	4: Biotop tout à fait remarquable, exemplaire.	4: plus de 7 espèces rares et protégées	4: parfaitement conservé

## C- INDICE DE FRAGMENTATION

	Indice de fragmentation 2004	Valeur/100	Indice de fragmentation 2014	Valeur/100
Tanne	5	100	4	80
Sol nu	2	40	2	40
Village	5	100	4	80
Culture	4	80	3	60
Prairie/Savane	5	100	4	80
Raphière	4	80	3	60
Forêt dégradée	4	80	2	40
Mangrove dégradée	4	80	2	40
Lac	5	100	5	100
Forêt	5	100	5	100
Mangrove	5	100	5	100
Estuaire	5	100	4	80

- 1: très fragmentée  
 2: fragmentée  
 3: plus ou moins fragmentée  
 4: plus ou moins intact  
 5: intact

## D- INDICE D'ECOTONES VERTS

Classe d'écotones		Village	Cultures	Savane	Raphiale	Lac/Rivière	Forêt	Sol nu	Mangrove	Tanne	Estuaire
		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
Village	a	a*a	a*b	a*c	a*d	a*e	a*f	a*g	a*ghi		
Culture	b		b*b	b*c	b*d	b*e	b*f	bc*g	b*hi		b*j
Savane	c			cd*cd		c*e	c*f		c*hi		c*j
Raphiale	d				d*e		de*f	de*g	de*hi		ef*j
Lac/Rivière	e					e*e					
Forêt	f						f*f	f*ghi			f*j
Sol nu	g							g*ghi			g*i
Mangrove	h								hi*hi		h*j
Tanne	i										i*j
Estuaire	j										j*j

Catégories de couverture de terre	Note/100	INDICE D'ECOTONES VERTS	
Tanne	65,71	Village*Village	1
Sol nu	65,71	Agriculture*Village	10
Village	40	Nature*Village	50
Culture	77,5	Agriculture*Agriculture	75
Prairie/Savane	90	Nature*Agriculture	100
Raphière	100	Nature*Nature	100
Forêt dégradée	92,85		
Mangrove dégradée	90		
Lac	87,5		
Forêt	92,85		
Mangrove	90		
Estuaire	100		

## ANNEXE 12: NOTES SUR LES INDICES DE SANTE DES ECOSYSTEMES

## A- DIVERSITE SPECIFIQUE / ENDEMICITE / ESPECES MENACEES

Critères	Modification de la diversité spécifique					Endemicité %	Espèces menacées
	2014	Forêt	Savane	Mangrove	Zones humides		
FLORE	171	26	8	15	220	74,49	18
POISSON				51	51	3,92	1
REPTILES ET AMPHIBIENS	26	2		3	31	73	3
OISEAUX	32	15		23	70	64,28	3
MICROMAMMIFERES	4				4	75	
LEMURIENS	5	80			5	100	5
<b>Total</b>	<b>238</b>	<b>123</b>	<b>8</b>	<b>92</b>	<b>381</b>	<b>65,115</b>	<b>30</b>
2004	Forêt	Savane	Mangrove	Zones humides	TOTAL		
FLORE	112	21	8	12	153	76	9
POISSON				51	51	3,92	1
REPTILES ET AMPHIBIENS	18	2		3	23	82	3
OISEAUX	33	19		23	75	5,33	4
MICROMAMMIFERES	5				5	70	
LEMURIENS	5				5	100	5
<b>Total</b>	<b>173</b>	<b>42</b>	<b>8</b>	<b>89</b>	<b>312</b>	<b>56,2</b>	<b>22</b>
<b>Indice 2014/2004</b>	<b>1,38</b>	<b>2,93</b>	<b>1,00</b>	<b>1,03</b>	<b>1,22</b>	<b>1,16</b>	<b>1,36</b>

## B- INDICE DE SPECIALISATION

	Indice de specialisaton 2004		Indice de specialisaton 2014	
	Valeur/5	Valeur/100	Valeur/5	Valeur/100
Tanne	1	20	1	20
Sol nu	1	20	1	20
Village	1	20	1	20
Culture	2	40	2	40
Prairie/Savane	5	100	5	100
Raphière	5	100	4	80
Forêt dégradée	4	80	3	60
Mangrove dégradée	4	80	3	60
Lac	5	100	5	100
Forêt	5	100	5	100
Mangrove	5	100	5	100
Estuaire	5	100	5	100
1: <20%				
2: 20 à 30 %				
3: 30 à 40 %				
4: 40 à 50%				
5: >50%				

## C- INDICE DE SANTE DE BIOTOPE

	Santé de biotope 2004		Santé de biotope 2014	
	Valeur/5	Valeur/100	Valeur/5	Valeur/100
Tanne	4	80	4	80
Sol nu	4	80	4	80
Village	4	80	3	60
Culture	2	40	2	40
Prairie/Savane	4	80	3	60
Raphière	4	80	2	40
Forêt dégradée	4	80	3	60
Mangrove dégradée	4	80	3	60
Lac	5	100	5	100
Forêt	5	100	5	100
Mangrove	5	100	5	100
Estuaire	5	100	5	100
1: très mauvaise				
2: mauvaise				
3: moyen				
4: bonne				
5: très bonne				

## D- INDICE DE SANTE DES RIVIERES

	Santé des rivières 2004		Santé des rivières 2014	
	Valeur/5	Valeur/100	Valeur/5	Valeur/100
Tanne	4	80	4	80
Sol nu	5	100	5	100
Village	3	60	2	40
Culture	3	60	2	40
Prairie/Savane	5	100	4	80
Raphière	5	100	4	80
Forêt dégradée	4	80	4	80
Mangrove dégradée	4	80	3	60
Lac				
Forêt	5	100	5	100
Mangrove	5	100	5	100
Estuaire	5	100	5	100
1: très mauvaise				
2: mauvaise				
3: moyen				
4: bonne				
5: très bonne				

**Author:** RAMBELOARISOA Lalaina Fanorenana

**Title:** Test of ecosystem natural capital accounts in the new protected area of Antrema: Water and Biodiversity.

### **ABSTRACT**

The present study applies the natural capital accounting to a small protected area, which is the new protected area of Antrema in the Northwestern of Madagascar between 2004 and 2014. The objective of this study is to assess the state and flows of natural capital in this protected area in order to have a synthetic view of the state from the environment for its better management. For that, several methods have been adopted, such as bibliographical surveys, studies of lakes and rivers, inquiries and cartographic processing. According to the results obtained, the stock of water resources in the NAP Antrema decreased by 8.1% between 2004 and 2014 due to the decrease of the precipitation between these periods but the net ecosystem accessible water surplus in the period is 7 times greater than the total water requirement in the NAP Antrema. Thus accessible and exploitable water resources remain sufficient to maintain the needs for the functioning of the ecosystem and human use. There is no degradation of ecosystem water resources and the "water ecological internal unit value" is 4,07. Land cover stock tends to deteriorate and decrease in 10 years. This decrease is 17,05% for dry dense forest, 34% for intact mangroves and 28,65% for raphiales. Despite this decrease, there is no stress, no degradation, but no improvement in ecosystem health. The total ecosystem infrastructure potential remains stable over 10 years; ecosystems are healthy and the ecosystem services provided are maintained and the "ecosystem infrastructure internal unit value" of NAP Antrema is 1. In short, since its creation until now, all its ecosystems are well preserved. To complete the ecosystem natural capital account of NAP Antrema, it is essential to revise and to complete the Ecosystem Carbon Account, then develop the Ecosystem Capability Account, the Specific Ecosystem Services Account, and the Monetary Account.

**Key words:** Natural capital accounting, resource, total ecosystem infrastructure potential, ecosystem internal unit value, management, health, protected area.

**Advisors:** Prof. RAKOTONDRAOMPIANA Solofo

Dr ROGER Edmond

**Auteur :** RAMBELOARISOA Lalaina Fanorenana

**Titre :** Essai de comptabilité écosystémique du capital naturel dans la nouvelle aire protégée Antrema : Eau et Biodiversité.

## **RESUME**

La présente étude applique la comptabilité du capital naturel dans une aire protégée de petite taille qui est la nouvelle aire protégée Antrema au Nord-Ouest de Madagascar entre les dates 2004 et 2014. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'état et les variations du capital naturel dans cette aire protégée afin d'avoir une vue synthétique de l'état de l'environnement pour sa meilleure gestion. Pour cela, plusieurs méthodes ont été adoptées comme des consultations bibliographiques, des études de lacs et rivières, des enquêtes ainsi que des traitements cartographiques. Selon les résultats obtenus, le stock de la ressource en eau dans la NAP Antrema a diminué de 8,1 % entre 2004 et 2014 à cause de la diminution de la précipitation entre ces périodes mais l'excédent net d'eau accessible dans l'écosystème est 7 fois supérieur à l'exigence totale en eau dans la NAP Antrema. Donc, les ressources en eau accessibles et exploitables restent suffisantes pour maintenir les besoins du fonctionnement de l'écosystème et de l'utilisation humaine. On note une absence de dégradation pour les ressources écosystémiques en eau et la « valeur unitaire écosystémique interne de l'eau » est de 4,07. Le stock de couverture des terres a tendance à se dégrader et diminuer en 10 ans. Cette diminution est de 17,05 % pour la forêt dense sèche, de 34 % pour les mangroves intactes et de 28,65 % pour les raphiales. Malgré cette diminution, on note une absence de stress, de dégradation et d'amélioration au niveau de la santé des écosystèmes. Le potentiel total de l'infrastructure écosystémique reste stable en 10 ans ; les écosystèmes sont en bonne santé et les services écosystémiques fournis sont maintenus et la « valeur unitaire interne de l'infrastructure écosystémique » de la NAP Antrema est de 1. Bref, depuis sa date de création jusqu'à maintenant, tous ses écosystèmes sont bien conservés. Afin de compléter le compte écosystémique du capital naturel de la NAP Antrema, il est primordial de réviser et de compléter le compte de carbone écosystémique, ensuite d'élaborer le compte de capacité écosystémique, le compte détaillé des services écosystémiques spécifiques et le compte monétaire.

**Mots clés :** Comptabilité du capital naturel, ressource, potentiel total de l'infrastructure écosystémique, valeur unitaire écosystémique interne, gestion, santé, aire protégée.

**Rapporteurs :** Pr RAKOTONDRAOMPIANA Solofo

Dr ROGER Edmond