# Contribution de la géomatique à la gestion durable du site Ramsar Bas Ogooué

Fern L. Mboumbou Makanga

▶ **To cite this version:**

Fern L. Mboumbou Makanga. Contribution de la géomatique à la gestion durable du site Ramsar Bas Ogooué. Géographie. Faculté des Lettres et des Sciences Humaines; université Omar BONGO, 2022. Français. NNT : . tel-03986924

**HAL Id: tel-03986924**
**https://hal.science/tel-03986924**

Submitted on 13 Feb 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

**UNİVERSİTÉ OMAR BONGO**

Faculté des Lettres et Sciences Humaines

Département des Sciences Géographiques, Environnementales et Marines

**FORMATION DOCTORALE EN SCİENCES GÉOGRAPHİQUES**

Laboratoire d'Analyse Spatiale et des Environnements Tropicaux (LANASPET)

**THÈSE**

Pour l'obtention du diplôme de

**Doctorat de l'Université Omar Bongo de Libreville**

Domaine **: Géographie physique –** Spécialité **: Hydrologie**

# *Contribution de la Géomatique à la gestion durable du site Ramsar du Bas Ogooué*

Présentée et soutenue publiquement le 29 décembre 2022 par :

**Fern Lièle MBOUMBOU MAKANGA**

**Sous la direction de:**

- **Jean Damien MALOBA MAKANGA**, Maître de Conférences (CAMES) de Géographie physique et environnementale, Université Omar Bongo, Directeur

**Membres du Jury :**

| | | |
|---|---|---|
| Marie Joseph SAMBA KIMBATA | Professeur Titulaire, Université Marien Ngouabi, Brazzaville (Congo). | Président |
| Michel BOKO | Professeur Titulaire, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou (Bénin). | Rapporteur 1 |
| Jean Bernard MOMBO | Professeur Titulaire, Université Omar Bongo, Libreville (Gabon). | Rapporteur 2 |
| Guy-Serge BIGNOUMBA | Professeur Titulaire, Université Omar Bongo, Libreville (Gabon). | Examinateur |
| Jean Damien MALOBA MAKANGA | Maître de Conférences, Université Omar Bongo, Libreville (Gabon). | Directeur |

**UNİVERSİTÉ OMAR BONGO**

Faculté des Lettres et Sciences Humaines

Département des Sciences Géographiques, Environnementales et Marines

**FORMATION DOCTORALE EN SCİENCES GÉOGRAPHİQUES**

Laboratoire d'Analyse Spatiale et des Environnements Tropicaux (LANASPET)

**THÈSE**

Pour l'obtention du diplôme de

**Doctorat de l'Université Omar Bongo de Libreville**

Domaine **: Géographie physique –** Spécialité **: Hydrologie**

# *Contribution de la Géomatique à la gestion durable du site Ramsar du Bas Ogooué*

Présentée et soutenue publiquement le 29 décembre 2022 par :

**Fern Lièle MBOUMBOU MAKANGA**

**Sous la direction de:**

- **Jean Damien MALOBA MAKANGA**, Maître de Conférences (CAMES) de Géographie physique et environnementale, Université Omar Bongo, Directeur

**Membres du Jury :**

| | | |
|---|---|---|
| Marie Joseph SAMBA KIMBATA | Professeur Titulaire, Université Marien Ngouabi, Brazzaville (Congo). | Président |
| Michel BOKO | Professeur Titulaire, Université d'Abomey-Calavi, Cotonou (Bénin). | Rapporteur 1 |
| Jean Bernard MOMBO | Professeur Titulaire, Université Omar Bongo, Libreville (Gabon). | Rapporteur 2 |
| Guy-Serge BIGNOUMBA | Professeur Titulaire, Université Omar Bongo, Libreville (Gabon). | Examinateur |
| Jean Damien MALOBA MAKANGA | Maître de Conférences, Université Omar Bongo, Libreville (Gabon). | Directeur |

## SOMMAIRE

DÉDICACES ..... iii
REMERCIEMENTS ..... vi
LISTE DES SIGLES ET ABREVIAIONS ..... viii
INTRODUCTION GENERALE ..... 1
PREMIERE PARTIE : INTRODUCTION AUX CONCEPTS DE LA RECHERCHE ET CARACTERISTIQUES ENVIRONNEMENTALES DU SITE D'ETUDE ..... 21
CHAPITRE 1 : LES FONCTIONNALITES ET LE ZONAGE DES ZONES HUMIDE ..... 23
CHAPITRE 2 : CARACTÉRISTIQUES BIOPHYSIQUES DE LA ZONE D'ÉTUDE ..... 51
CHAPITRE 3 : CARACTERISTIQUES SOCIOECONOMIQUES DU SITE D'ETUDE ..... 73
DEUXIEME PARTIE : ETUDE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE ET DELIMITATION DES ZONES HUMIDES DU SITE RAMSAR BAS-OGOOUE ..... 97
CHAPITRE 4 : DETECTION DES COURS D'EAU DANS LE SITE RAMSAR DU BAS OGOOUE ..... 99
CHAPITRE 5 : EXTRACTION DES ENTITES HYDROGRAPHIQUES SURFACIQUES DU SITE RAMSAR BAS OGOOUE ..... 121
CHAPITRE 6 : LA DELIMITATION DES ZONES HUMIDES DANS LE SITE RAMSAR DU BAS OGOOUE ..... 135
TROISIEME PARTIE : DE L'EVALUATION FONCTIONNELLE DES ZONES HUMIDES AU ZONAGES DU SITE RAMSAR DU BAS OGOOUE ? ..... 148
CHAPITRES 7 : EVALUATION FONCTIONNELLE DES ZONES HUMIDES ..... 150
CHAPITRE 8 : DEFINITION DES ZONES DE CONSERVATION DANS LE SITE RAMSAR DU BAS OGOOUE ..... 172
CHAPITRE 9 : ETUDE DES AFFECTATIONS ACTUELLES ET ADEQUATION DES TERRES DANS LE SITE RAMSAR DU BAS OGOOUE ..... 229
CONCLUSION GENERALE ..... 264
BIBLIOGRAPHIE ..... 272
ANNEXES ..... 290
TABLE DES MATIÈRES ..... 319

## DÉDICACES

*…A ma défunte grand-mère,* ***ILAMA MAPAGA Albertine****, qui aurait été fière de son retour sur investissement.*

*…A Mon frère,* ***LOUTABOU Loïc****, parti trop tôt, une semaine avant de soutenir son mémoire de Master, et quelques semaines avant que je soutinsse aussi le mien. De là où il est, puisse-t-il savourer, avec son frère, l'achèvement de ce travail de Thèse.*

*…A mon géniteur,* ***Jean Marie MBOUMBOU MAKANGA****, Je voudrais qu'il partage également, ce sentiment de joie, car il est le roc sur lequel repose, essentiellement, toute ma réussite scolaire. Père soucieux, rigoureux, travailleur et dévoué pour ses enfants, il est pour moi un modèle de vie et une raison de dépassement.*

**©Guy-Philippe SOUNGUET, 2020**[1]

[1] Coordonnées géographiques : E 10,851° ; S 0,1085°

# REMERCIEMENTS

La réalité d'une thèse de doctorat revêt deux aspects contradictoires. D'un côté, elle est généralement vécue comme un exercice solitaire. De l'autre, elle est aussi après-coup, une expérience collective, nourrie par une myriade d'échanges et relations, sans lesquels ce travail n'aurait été possible. La liste des personnes, dont le soutien, l'aide, la patience et l'écoute m'ont permis d'aboutir à ce document, ne pourra jamais être exhaustive ; elles ont pourtant toute ma reconnaissance.

Je tiens ici à exprimer ma reconnaissance et ma gratitude au Pr. **Jean Damien MALOBA MAKANGA**, mon directeur de thèse, qui a cru en moi et créé un environnement propice au déroulement et à l'élaboration de cette recherche doctorale. J'ai eu la chance de travailler avec une personne dotée d'une très grande capacité d'écoute, et de nombreuses qualités humaines. Qu'il trouve en l'aboutissement de cette œuvre, le fruit de sa rigueur scientifique et de son soutien inconditionnel.

Aux professeurs **Joseph Marie SAMBA KIMBATA**, **Michel BOKO**, **Jean Bernard MOMBO** et **Guy-serge BIGNOUMBA**, pour avoir accepté d'être les membres du jury de cette thèse. J'en suis très honoré.

La nature même de cette recherche s'appuie sur l'exploitation des données appartenant à l'ANPN. Je tiens, particulièrement à rendre hommage à M. **Hubert Claude ELLA EKOGHA**, Directeur Technique de l'ANPN, qui eut assez de confiance en ma petite personne pour autoriser ma recherche et me faire intégrer ses effectifs.

La vie est un voyage, la route que nous parcourons a des rebondissements qui nous mènent parfois vers des endroits inattendus et des personnes exceptionnelles. J'ai eu la chance de faire la connaissance de Mme **Pétronie MABIALA** et M. **Guy-Philippe SOUNGUET**, deux personnes qui me sont chères et à qui j'exprime ma profonde gratitude pour avoir facilité mes nombreuses descentes sur le terrain. Je remercie aussi tous les écogardes ayant participé à la collecte des données.

Je suis particulièrement reconnaissant aux enseignants du Département de Géographie qui, de près ou de loin, nous ont soutenus dans la voie de la recherche, en particulier : les Professeurs **Jean-Bernard MOMBO** et **Léandre Edgard NDJAMBOU**, les Docteurs **Christian WALI WALI**, **Feu Emmanuel ONDO ASSOUMOU**, **Pépin Martial MAKANGA BALA, Dieu-Donné MADEBE et Epiphane MOUVONDO**. Cette thèse est le résultat de leur générosité intellectuelle.

J'adresse également mes remerciements à l'équipe du Service Géomatique de l'ANPN, personnellement à **Guichard NDZENG OBIANG**, **Brice MOUELE**, **Pavlique ETOUGHE KONGO**, **Lionnelle MEGNE SIMO**, **Malcom MABIALA**, **Paul MOULOUNGUI IKAPI**, **Loïs Danielle MABICKA**, **Steeve MABICKA**, **Dorhiane ARONDO, Anselme**

**Prince PRODJINOTHO, Emmanuel Ava MENDOULA, Danny SANGONDA ISSIAKA, Jordan POUNAH et Yvan ZUE ESSONO**. Ils ont su comprendre et s'adapter en conséquence aux contraintes de ce travail, et donc de m'avoir soutenu pendant ces quatre années et quelques mois.

Je salue l'ensemble des membres du LANASPET. J'exprime, particulièrement ma reconnaissance à mes collègues doctorants, dont les discussions ont contribué, efficacement, à l'achèvement de ce travail. Nos pensées vont principalement à l'endroit de : **Emmanuelle MBADINGA IGALY**, **Breazee Skarly SINANDONG BIGOUNDOU**, **Lewis BACKITA MOUSSOUNDA** et **Lyn Randy ESSONO MBEGHA**, maintenant Docteur !

A mes parents, mes amis et mes proches qui ont contribué à ce que mon travail se déroule dans une atmosphère agréable. Je pense à **Marie-Hélène MBOUMBOU MAKANGA, Honorine MOUTSINGA**, **Marcien MAKAYA**, **Wilfrand LOUTABOU MAKANGA**, **Jean KOUMBA**, **Joann MBOUMBOU MAKANGA**, **Yélika BOMO MBOUMBOU**, **Mariella MOUSSOGOU MBOUMBOU**, **Eric-Landry MBADINGA**, **Franck Alexandre MOUELY KOUMBA**, **NTSAME EYA Aude Romaine, Jean Aymar MOUKALA** et **Tatiana OBONE**…Sans omettre toute la maisonnée d'**Antoinette ABANG**, ainsi que mes neveux : **Betty, Philippine, Jean Marie, Latifa, Christ, Joyce, Karl, Paul-Lenaïc, Genesis et Mercedes**.

Il existe des parents qui semblent ignorer ce que vous traversez jusqu'au moment où ils apparaissent, curieusement, aux moments opportuns. Pour leurs précieuses aides, je voudrais d'abord remercier mon père, **Jean Marie MBOUMBOU MAKANGA**, qui lit mes travaux, page par page, depuis le Master, il doit être devenu géographe, à force ! Ensuite, **Régis et Christy-Achtone KEMA KEMA**, qui m'ont initié au domaine de la conservation. Enfin, **Michel Ivan NGUI ONDO** qui m'a initié par téléphone aux techniques de télédétection.

A trois femmes, qui jouent un rôle très important dans ma vie : **Chantal NYANGUI**, ma maman, qui m'a toujours soutenu et, sans qui tout cela n'aurait jamais été possible ; **Kechia NDONG MVONO**, ma complice et ma Reine, les mots ne pouvant suffirent pour exprimer ma gratitude envers celle qui m'a accompagné, m'a tant aidé et aussi supporté durant les dernières années de cette thèse ; notre fille, **Alpha Hanaé EYANG**, qui m'a apporté une joie quotidienne tout au long de l'écriture de cette thèse. Qu'elles trouvent ici le fruit de leur amour, de leur patience et de leur tempérance.

Que les filles **MVONO** trouvent ma reconnaissance pour leur remarquable soutien.

Enfin, comme le vin qui se bonifie avec les temps, je voudrais rendre hommage à l'ensemble de mes étudiants qui m'obligent à me perfectionner chaque jour, à travers la préparation des cours et les discussions passionnées. Je ne peux que leur souhaiter détermination, force et réussite dans leur cursus universitaire ou pour certains, dans leurs carrières professionnelles.

## LISTE DES SIGLES ET ABREVIAIONS

**ANPN :** Agence Nationale des Parcs Nationaux

**CCNUCC :** Convention-Cadre des Nations unies sur les Changements Climatiques

**CDB :** Convention sur la Diversité Biologique

**CENAREST :** Centre National de la Recherchée Scientifique et Technologique

**CNAT :** Commission Nationale d'Affectation des Terres

**CNULD :** Convention des Nations Unies sur la Lutte contre la Désertification

**FAO :** Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

**FAP:** Functional Assessment Procedure

**FSC:** Forest Stewardship Council

**HGMU :** Hydrogeomorphologic units (unités hydrogéomorphologique)

**HVC :** Haute Valeur de Conservation

**MAB :** Man And Biosphere / Programme sur l'Homme et la Biosphère ;

**MEA :** Millenium Ecosystem Assessment

**NDVI :** Normal Differencied Vegetation Index (Indice normalisé de Végétation)

**NDWI :** Normal Differencied Water Index (Indice normalisé de l'eau)

**OS :** Occupation du sol

**PARC :** Projet d'Appui au Renforcement des Capacités de gestion des parcs nationaux et de la biodiversité

**PAZH :** Projet d'Appui à la gestion durable des Zones Humides du Gabon

**PFNL :** Produits Forestiers Non Ligneux

**PNAT :** Plan National d'Affectation des Terres

**PNUE :** Programme des Nations Unies pour l'Environnement

**SIG :** Système d'Information Géographique

**SRBO :** Site Ramsar Bas Ogooué

**UICN :** Union Internationale pour la Conservation de la Nature

**UNEP-WCMC :** United Nations Environment Programme-World Conservation Monitoring (Centre de Surveillance Continue pour la Conservation de la Nature Mondiale » du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE/UNEP-WCMC)
**UNESCO :** Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture

**WCS:** World Conservation Society

**WWF:** World Wildlife Fund (Fonds Mondial pour la Nature)

# INTRODUCTION GENERALE

## 1. Contexte et justification de la recherche

En général, le terme "zone humide" désigne des milieux où l'eau est le principal facteur de contrôle du milieu naturel. Les milieux humides sont des portions naturelles ou artificielles de territoire qui sont ou ont été inondées ou gorgées d'eau de façon permanente ou temporaire (Sandre, 2013). Le caractère d'inondation permanente ou non, variant d'une année à l'autre selon les conditions climatiques et l'intervention humaine, pose toutefois la difficulté de définition et de délimitation de ces entités (Barnaud G. & Fustec E., 2007).

Ce problème lié au gradient d'humidité, variant d'une zone à une autre, ou d'une période à une autre, a été à l'origine de plusieurs définitions de ces écosystèmes complexes, dont les connaissances sur leurs structures, leurs fonctionnements et leurs apports n'ont été acquises que récemment (Barnaud G. & Fustec E., 2007 ; Cowardin L.M. 1979). Ces auteurs les définissent comme des terres de transition entre les systèmes terrestres et aquatiques, comportant les trois attributs suivants : la présence prédominante des hydrophytes, d'un sol à caractère hydromorphe non drainé et un substrat correspondant à un « non sol » (roche, galets) saturé en eau ou couvert d'une couche d'eau peu profonde à certains moments.

*Clean Water Art section* 404 (1977) reprend la définition des terrains gorgés d'eau en y ajoutant le paramètre de la durée d'inondation suffisante pour permettre, et dans des circonstances normales, le développement d'une végétation dominante typiquement adaptée aux conditions de vie dans un sol saturé en eau. La loi Française sur l'eau, du 3 janvier 1992, fait intervenir la notion de dichotomie de la propriété de l'eau ainsi que de sa présence. En effet, elle mentionne qu'il s'agit de terrains gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire.

Au sens de cette thèse, nous appréhendons les zones humides comme étant *« des étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres* », (Article premier, Convention de Ramsar, 1971). Mais, aussi, comme « *des habitats dans lesquels le plan d'eau salée ou douce est situé à la surface du sol ou à proximité de cette surface, et qui supportent une végétation adaptée à un engorgement plus ou moins*

*continu* » (Rapinel S., 2012). Cette deuxième définition précise quelque peu la définition de Ramsar, en ajoutant le critère de végétation. Bien que ces deux définitions prennent en compte la diversité des milieux humides, elle restent, néanmoins, ces définitions trop larges posent toujours la difficulté de délimitation.

La présence de zones humides est conditionnée par les caractéristiques géomorphologiques et géologiques d'une région. Ces milieux sont structurés par l'hydrodynamique, qui contrôle leur fonctionnement et leur dynamique. Les flux d'eau, les niveaux d'eau et leurs périodicités révèlent les conditions d'hydromorphie du sol et les réponses des organismes vivants, en particulier de la végétation. Ces conditions font des zones humides des milieux très diversifiés, singuliers et variables dans le temps et l'espace (Lointier M., 1996).

En effet, les interactions entre les éléments physiques, biologiques et chimiques tels que les sols, l'eau, les plantes et les animaux, permettent à une zone humide de remplir de nombreuses fonctions vitales (Maltby E. et Barker T., 2009). Peuvent être évoqués, entre autres : le stockage de l'eau, la protection contre les tempêtes, la stabilisation du littoral et la maîtrise de l'érosion, l'épuration de l'eau ; la rétention des sédiments, des polluants et la stabilisation des conditions climatiques locales. Les zones humides fournissent, de la même manière, des avantages économiques considérables tels que l'alimentation en eau, les ressources énergétiques, la faune et la flore sauvage, le transport, le loisir, la pêche et l'agriculture, etc. Les exemples ne manquent pas ; plus des deux tiers des poissons pêchés, dans le monde, dépendent de zones humides en bon état ; ou encore le riz, qui se cultive sur zone humide, est un aliment quotidien pour plus de la moitié de l'humanité.

A l'interface entre terre et eau, les zones humides sont des milieux riches et diversifiés, aux fonctions et valeurs multiples, aujourd'hui largement reconnues (Fustec E. et. Lefeuvre J.C, 2000 ; Maltby E. et Barker T., *op. cit.*). Elles ont connu cependant une forte diminution au niveau mondial depuis plusieurs décennies (Maltby E., 1986) et sont aujourd'hui toutes plus ou moins menacées et/ou dégradées (Williams M., 1990), en raison principalement de la pression anthropique exercée sur ces écosystèmes (R.K. Turner, 1992), et du changement climatique (Murdoch P. S. *et al.*, 2000). L'emprise et l'évolution actuelles des zones humides, en particulier dans les paysages fortement anthropisés, représentent un enjeu environnemental majeur, tant au niveau de la

ressource en eau (M. P. McCartney et M. C. Acreman, 2009) que de la biodiversité (B. Gopal, 2009) ou de l'état de l'atmosphère.

Pendant longtemps, le manque de connaissances sur les propriétés des zones, humides, leur importance pour l'homme a entretenu un sentiment d'indifférence à l'égard du sort réservé à certaines d'entre elles. Du côté de la communauté scientifique, il fallut attendre les années 1980 pour que soient enfin connues et étudiées les fonctions des zones humides. À cette époque, s'amplifiaient la pollution des réservoirs d'eau et les inondations, issues relativement de l'industrialisation et l'extension urbaine des grandes villes.

Le texte de la convention de Ramsar fut adopté le 2 février 1971 en Iran dans la ville éponyme. Il est le premier traité intergouvernemental visant à protéger un écosystème particulier : les zones humides (Ramsar, 2010). La convention dite de Ramsar est donc un traité qui *vise à enrayer leur dégradation ou disparition, aujourd'hui et demain, en reconnaissant leurs fonctions écologiques ainsi que leurs valeurs économique, culturelle, scientifique et récréative* (Ramsar, 2015). Elle procède depuis le cadre restreint de l'action locale, à la coopération internationale pour une gestion et une conservation mondiale de la ressource et de la biodiversité.

Entrée en vigueur en 1975, la Convention compte aujourd'hui 172 Parties contractantes, ou États membres. Bien que le message central porté par Ramsar soit l'utilisation durable de toutes les zones humides, l'étendard de la Convention est la « Liste des zones humides d'importance internationale **»** (ou Liste de Ramsar) sur laquelle les Parties ont inscrit plus de 2 470 zones humides (ou Sites Ramsar) méritant une protection spéciale. Ces sites couvrent 256 millions d'hectares (2,56 millions de kilomètres carrés), soit une superficie supérieure à neuf fois celle du Gabon (Ramsar 2022).

Par leur adhésion, les parties contractantes, en plus de produire un rapport tous les trois ans sur l'état de leurs zones humides, s'engagent entre autres à tenir compte de la conservation des zones humides dans leurs plans d'aménagement, et de veiller à une utilisation « rationnelle » des zones humides. Or, dans un Etat comme le Gabon, partie prenante de la convention, force est de constater qu'aucun outil juridique local ne permet l'établissement de cette politique de conservation des zones humides. En effet, aucun site

Ramsar n'a jamais fait l'objet spécifique d'un quelconque plan de gestion. Face aux multiples perturbations de ces écosystèmes vitaux pour l'homme, il incombe aux décideurs de disposer d'outils de gestion planifiée.

Notons que toute investigation dans un écosystème aquatique est assujettie aux préceptes de l'hydrologie. L'hydrologie est la science qui étudie la nature, les propriétés physiques, chimiques et les mouvements des eaux marines et continentales (P. George et F. Verger, 2013). Elle s'intéresse à tous les aspects du cycle de l'eau, c'est-à-dire aux échanges entre l'atmosphère, la surface terrestre et le sous-sol. La particularité essentielle de l'hydrologie réside dans sa multidisciplinarité. Elle a pour but de répondre aux problèmes concernant la ressource en eau. En tant que telle l'hydrologie est la science la mieux indiquée, pour comprendre et appréhender les multiples relations entre l'eau et l'homme. Cette approche scientifique s'appuie sur notamment sur de nombreux outils.

Depuis quelques années, les techniques spatiales de Système d'Information Géographique (SIG) et de télédétection sont utilisées pour l'étude des variations des stocks d'eau dans les grands bassins fluviaux à des échelles de temps, allant de quelques mois à plusieurs décennies. Ainsi, l'altimétrie spatiale permet singulièrement la mesure des niveaux d'eau des fleuves, des lacs et des plaines inondées. De même, la mission de gravimétrie spatiale GRACE fournit les variations spatio-temporelles des stocks d'eaux continentales (Frappart F., 2005). Par ailleurs, les fonctions des zones humides, qui étaient mesurées sur le terrain et délimitées sur quelques $km^2$, peuvent être spatialisées de nos jours (S. Rapinel, *op. cit.*). Les techniques des SIG et télédétection spatiale constituent un apport majeur pour l'étude des variations de masses d'eau (*F. Frappart et al.*, 2006), des fonctionnalités des zones humides (S. Rapinel, *op. cit.*), ainsi que de leur aménagement en permettant un suivi homogène de ces fluctuations dans l'espace et dans le temps.

## 2. Localisation de la zone d'étude

La Convention de Ramsar est entrée en vigueur au Gabon le 30 avril 1987. A ce jour le pays compte neuf sites inscrits à la « liste des zones humides d'importance internationale », pour une superficie estimée à 3 001 769 ha (Ramsar, 2014). La majorité de ces sites se superposent aux parcs nationaux, d'autres sont à la limite directe d'une autre aire protégée et seul le site des rapides de Mbougou Badouma et de Doumé semble isolé (figure 1).

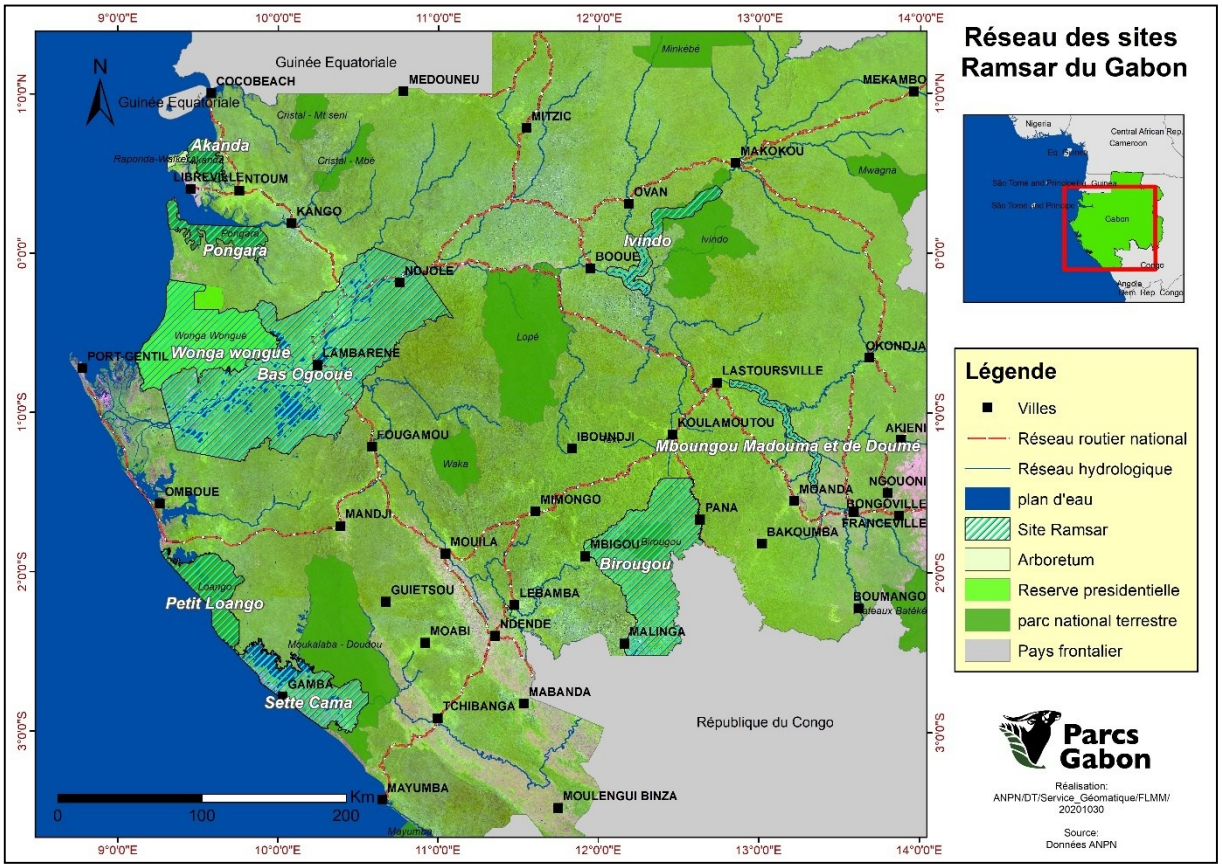



**Figure 1: Localisation des sites Ramsar inscrits par le Gabon**

Inscrit sur la liste de la convention Ramsar le 2 avril 2009, le site Ramsar de Bas Ogooué couvre une superficie administrative de 1 370 000 hectares[2] et appartient à la catégorie des sites Ramsar limitrophes d'autres aires protégées. En effet, le site jouxte la zone périphérique septentrionale du parc national de la Lopé et se trouve à la lisière de la réserve présidentielle et du site Ramsar dénommés Wonga Wongué.

[2] La superficie SIG est de 1.363.453 hectares

Il se situe précisément au Centre-Ouest du Gabon, dans le bassin sédimentaire côtier, à cheval entre les provinces de l'Ogooué-Maritime (département de *Bendjé*) et du Moyen-Ogooué (départements *Ogooué et Lacs* et *Abanga Bigné*). Ce site s'étend depuis la bordure du delta de l'Ogooué, à l'Ouest, jusqu'à Ndjolé, à l'Est, et englobe toute la zone appelée « région des lacs de l'Ogooué » (figure 2). Les coordonnées géographiques de cet espace sont : 0°2,12'N et 1°22,40'S de latitude et 9°9,06'E et 11°2,68'E de longitude. De par son étendue, près de 50% de l'ensemble des sites inscrits par le Gabon, le Bas Ogooué est le site Ramsar le plus important du pays.

Le site qui compte environ 260 kilomètres du cours du fleuve Ogooué, sur une largeur moyenne d'environ 80 kilomètres abrite également une vingtaine de lacs permanents d'une superficie supérieure à 1km$^2$ soit près 4% de la superficie totale du site.

Sur une largeur moyenne d'environ 80 kilomètres, le site qui compte environ 260 kilomètres du cours du fleuve Ogooué abrite également une vingtaine de lacs permanents d'une superficie supérieure à 1km$^2$ soit près 4% de la superficie totale du site.

Les accès au Site Ramsar du Bas Ogooué se font principalement par :

- voie fluviale, depuis les villes de Port-Gentil ou d'Omboué par les nombreuses ramifications de l'Ogooué à travers son delta ;
- voie terrestre à partir du Nord, du Sud ou de L'Est du pays ; avec les routes nationales qui se croisent toutes à Bifoun, grand carrefour du pays ;
- voie ferrée, à partir des villes de Libreville ou de Franceville; le site compte les gares d'Abanga, de Ndjolé et d'Alembé.

Précisons que Port-Gentil, Fougamou et Kango, avec respectivement 136 462, 7 180 et 4 771 habitants, sont les principales villes les plus proches du site. Les villes de Lambaréné et Ndjolé, présentes à l'intérieur du site, regroupent environ 45 652 habitants (DGS, 2015).

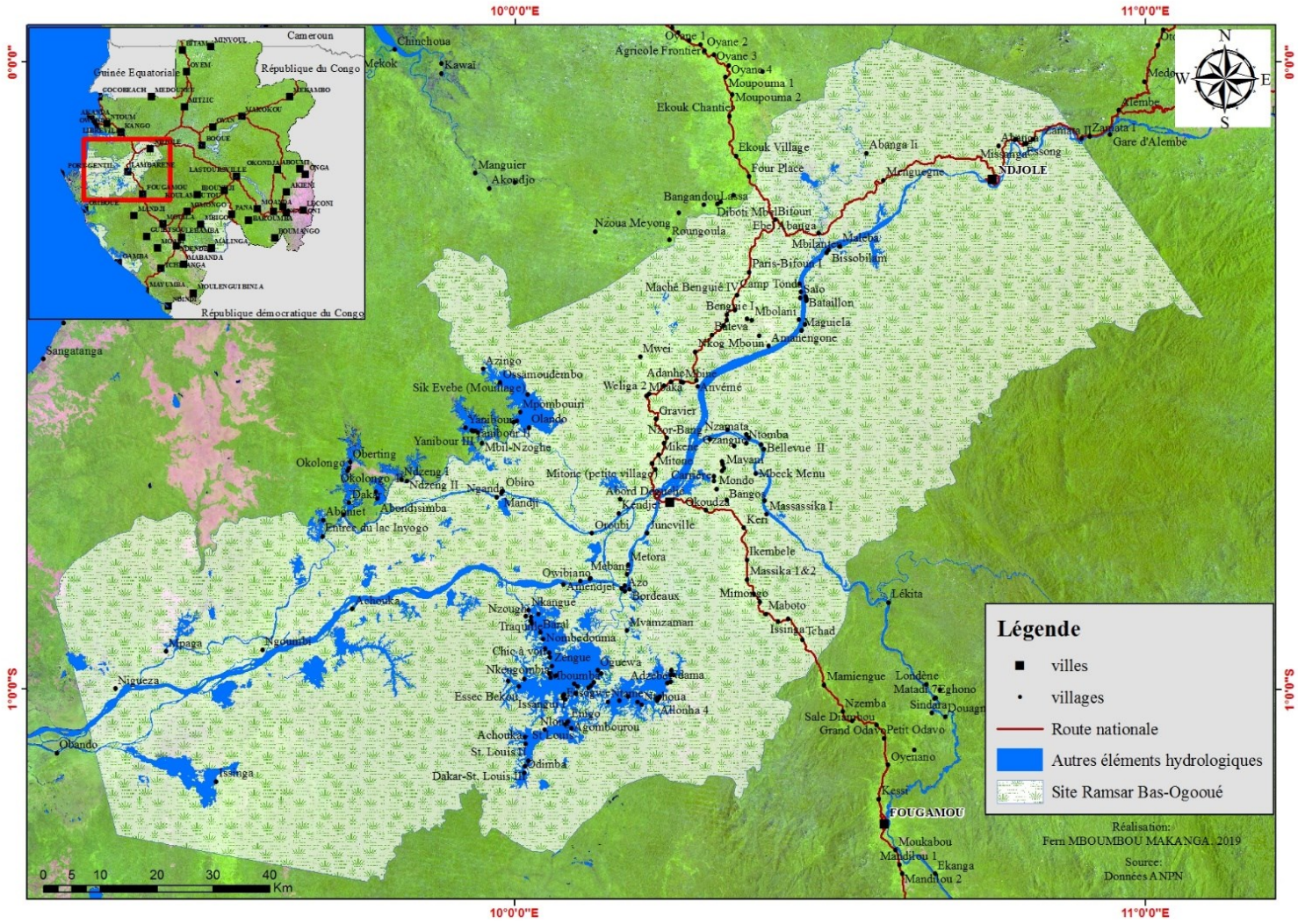



**Figure 2: Localisation du Site Ramsar du Bas Ogooué**

Reconnue comme « *Zone d'importante pour la conservation des oiseaux* » (Mengue M'Edou C. et *al*, 2008), ce site constitue, en effet, une zone critique pour la conservation et la sauvegarde des colonies d'oiseaux que l'on trouve dans les différents lacs localisés au sud du site et sur les bancs de sable de l'Ogooué. Cet espace héberge un nombre significatif d'espèces en danger (liste rouge UICN) telles que la sterne des baleiniers, *Sterna* (*Sternula*) *balaenarum*, migratrice provenant des zones de nidification d'Afrique australe ; mais aussi des espèces protégés (Loi n°016/2001 portant Code forestier en République gabonaise) telles que le lamantin africain (*Trichechus senegalensis*) et l'hippopotame (*Hippopotamus amphibius) (planche 1).*

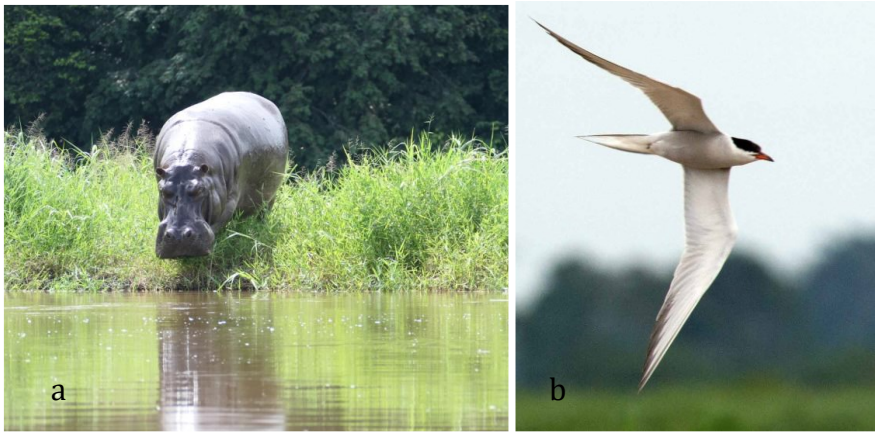



**Planche 1: Hippopotame au bord de l'Ogooué, en aval de Lambaréné (a) et sterne pierregarin (*Sterna hirundo*) au vol en juillet 2014 dans le delta lacustre de la rivière des Pélicans (b)**

(Crédits photos : Guy-Philippe SOUNGUET Jean P. VANDE WEGHE).

2

Le site Ramsar du Bas Ogooué constitue le plus vaste domaine deltaïque intérieur du pays avec une superficie de 50 000 km$^2$. L'omniprésence de l'eau sur ce site en fait un véritable réservoir hydrologique, certainement parmi les plus importants du pays. Il contient des zones de frayères de certains requins dont le requin bouledogue (*Carcharhinus leucas*) et d'autres espèces migratrices marines. C'est également une grande nurserie pour les poissons, notamment le tilapia (*Tilapia guineensis*).

L'un des principaux éléments qui caractérisent le Bas Ogooué est l'importance de son couvert végétal. En effet, si la moitié de la superficie est occupée par les étendues d'eau (fleuves, rivières et lacs), le reste porte une végétation luxuriante aux paysages et essences variées. Les populations d'espèces animales et végétales diversifiées participent au maintien de sa diversité biologique, en raison des interactions existant entre elles.

## 3. Approche problématique

### 3.1. Etat de l'art

Depuis quelques années, l'urbanisation et plusieurs pratiques humaines ont contribué, en plus d'une baisse notable de la biodiversité, à l'accélération des transferts de flux et de matières dans les hydrosystèmes, les dommages entraînés comprenant, entre autres, la pollution et l'eutrophisation des cours d'eau (M. C. Acreman et M. P. McCartney, *op. cit.*), ou l'artificialisation des sols impactant la recharge et l'écoulement de surface (Ndao, 2012). De plus, un grand nombre de zones humides sont des bas marais ou des tourbières, qui génèrent des stocks de carbone importants. Des aménagements dans ces zones contribuent, soit à libérer du carbone dans l'atmosphère, soit à le fixer (Francez A.J., 2000). Avec toutes les activités qui s'y déroulent sur son espace (extension urbaine, industrialisation, exploitation forestière ou minières illégales), le Bas Ogooué ne semble pas être en reste de ce phénomène de dégradation des zones humides.

Par ailleurs, plusieurs études ont montré que la dégradation des zones humides existantes (Fustec E. et Lefeuvre J. C., *op.cit.*, ; Houehouna D. H. M., 2015 ; Mboumbou Makanga F. L., 2018) réduit l'efficacité de leurs fonctions, et fait chuter leur valeur sur le plan économique. Face à l'absence de plans de gestion des zones humides nationales, l'inventaire, la délimitation, la caractérisation et le suivi de ces milieux apparaît comme un des éléments primordiaux pour la protection de ces environnements vitaux pour l'humanité.

En quelques décennies, la télédétection satellitaire a révolutionné la compréhension du cycle de l'eau. *L'arrivée des satellites d'observation de la Terre a, en effet, considérablement amélioré notre appréhension du cycle de l'eau sur les continents et permis d'étendre, à la fois dans le temps et dans l'espace, les observations pour obtenir une vue bien plus complète des phénomènes à l'œuvre* (IRD, 2021). Depuis la naissance de l'hydrologie, les chercheurs et techniciens collectent les informations hydrologiques à travers des réseaux d'observation. Mais, cette approche *in situ* connaît des limites. De fait, les données enregistrées sur le terrain sont ponctuelles et circonscrites aux seuls points établis, et les descentes de terrain, assez compliquées et coûteuses en matière de logistique.

De nos jours, grâce à des méthodes d'analyse spécifiques, les hydrologues exploitent désormais les données acquises par toutes sortes de capteurs satellitaires, de tous types de résolution. Les analyses concernent aussi bien les superficies, la qualité de l'eau, la délimitation des territoires hydrologiques, la construction de modèles, etc. (Frappart F., 2005 ; Mboumbou Makanga F.L., 2018 ; IRD, 2021). Les informations *in situ* restent, toutefois nécessaires pour le calibrage d'un modèle ou la vérification de terrain. Aujourd'hui, l'hydrologie spatiale devient une boîte à outil pour les techniciens de l'eau qui leurs permet de développer des applications précieuses pour la gestion de la ressource et la préservation des milieux aquatiques.

### 3.2. Problématique de la recherche et champ de l'étude

Malgré la richesse biologique et écologique reconnue depuis plusieurs années à la région du Bas Ogooué, ce site n'a pas encore été classée en aire protégée avec un statut juridique approprié. En effet, il n'y a aucun texte de loi gabonaise qui reconnaît les sites Ramsar comme étant des aires protégées à part entière. Ainsi, l'encadrement de ces dernières exige la mise à contribution d'autres instruments juridiques dans lesquels certaines dispositions font référence à des écosystèmes aquatiques ou à d'autres types de zones humides. Par exemple, la loi 007/2014 du 1er août 2014 relative à la protection de l'environnement en République Gabonaise, qui reconnaît en son article 52 les eaux continentales, les littoraux comme des ressources naturelles ; ou la loi n°15/2005 portant Code des pêches et de l'aquaculture en République Gabonaise, qui définit en son article 8 la gestion des ressources halieutiques comme « la forme d'exploitation qui, tout en les prélevant, maintient leur diversité biologique, leur productivité, leur faculté de régénération et leur capacité à assurer, de manière pérenne et sans préjudice pour les écosystèmes établis, les fonctions économiques, écologiques, sociales, culturelles et scientifiques pertinentes. »

Outre son importance pour le maintien de la diversité biologique, le site Ramsar de Bas Ogooué fournit des services écosystémiques essentiels pour plus de 50 000 personnes représentant les communautés locales, urbaines et rurales à travers : les ressources naturelles (eau ; poissons ; gibier ; Produits Forestiers Non Ligneux, PFNL ; etc.), les terres pour l'agriculture, le cadre pour le développement d'activités touristiques et de loisirs, etc. Dans le cadre du développement de la région et du pays, il est le centre

de développement de nombreuses activités économiques dans des secteurs aussi variés que l'exploitation forestière et l'industrie du bois ; la pêche et la pisciculture, l'agriculture et l'élevage, l'Agro-industrie alimentaire, le tourisme, les mines et les hydrocarbures, l'industrie chimique et le transport de grumes, fret, hydrocarbures et des personnes (Art Gold, 2009).

Du fait de la multitude des acteurs et l'importance des enjeux de conservation et de développement, le Gouvernement gabonais a initié, dans le cadre du Projet d'Appui à la gestion durable des Zones Humides du *Gabon* (PAZH), la mise en place d'un plan de gestion avec l'appui technique de plusieurs administrations telles que le Fonds Mondial pour la Nature (WWF), l'Herbier, l'Agence National des Parcs Nationaux (ANPN) et le Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CENAREST). Ce plan de gestion, bien que tardif, répond aux obligations des parties prenantes de la convention dès la désignation d'un site Ramsar.

L'objectif principal de ce plan cadre avec l'engagement du Gabon envers la Convention de Ramsar, en réalisant une évaluation des statuts actuels et des menaces sur les écosystèmes du Bas Ogooué et une mise en œuvre du premier plan d'action pour assurer une gestion durable de ce site Ramsar.

La problématique générale porte sur la contribution des techniques spatiales à la mise en place d'un plan de gestion du site Ramsar de Bas Ogooué. Cette problématique est novatrice, puisqu'à notre connaissance, celle-ci n'a jamais fait l'objet d'une recherche doctorale y relative dans la sous-région. Le traitement de cette problématique nécessite un travail pluridisciplinaire et le résultat de cette recherche devrait faire l'objet d'une application à tous les sites Ramsar du pays. En prenant le Bas Ogooué comme site pilote, quelle serait la contribution de la géomatique à la gestion durable des sites Ramsar ? De fait, la réponse à la problématique posée passe par l'élucidation de trois questions subsidiaires de recherche :

Comment produire une délimitation de la zone humide principale du Site Ramsar du Bas Ogooué ?

Comment identifier les zones humides à Haute valeur de Conservation sur l'ensemble du Site ?

Comment concilier les affectations de terres actuelles et l'utilisation rationnelle des zones humides ?

Notre étude s'inscrit dans le vaste champ de la géographie de l'environnement puisqu'elle envisage les territoires à partir des interactions entre les hommes et les milieux qui les entourent (Belizal E. et *al*, 2017). Elle s'appuie, principalement, sur la l'hydrologie continentale car les zones humides sont à la base des territoire d'eau ; puis elle a recours à l'aménagement du territoire pour consolider sa proposition de zonage du site Ramsar Bas Ogooué.

## 4. Objectif de l'étude

Le principal objectif de cette thèse est de poser les bases d'un plan d'aménagement durable du site Ramsar Bas Ogooué en prenant en compte les dimensions spatiales et/ou temporel des paramètres associés. Les objectifs spécifiques sont les suivants :

1. Mettre à jour la carte d'occupation du sol, et détecter les cours d'eau à partir de données satellitaires multi-source, afin de parvenir à la délimitation de la zone humide principale ;
2. Évaluer les fonctions actuelles des zones humides, afin de déterminer les zones humides à Haute Valeur de Conservation (HVC). ;
3. Proposez des mécanismes adaptés à une gestion durable du Site Ramsar du Bas Ogooué.

## 5. Hypothèses de recherche

La géomatique intègre aujourd'hui toutes les formes de représentation de la Terre. Elle possède les outils nécessaires pour représenter et modéliser les phénomènes actuels, passés et futurs. Bien que ces représentations graphiques ne soient pas exactes à 100%, elle guide néanmoins, l'action à mener et permet de créer un cadre adapté pour la gestion du risque ou de l'aléa.

L'hypothèse générale de cette thèse prône l'idée selon laquelle les applications des SIG et de Télédétection pourrait permettre l'aménagement et la gestion durable des sites Ramsar en renforçant les travaux de terrain, souvent ponctuels et localisés. Plus spécifiquement elle postule ce qu'il suit :

1. Les SIG et la télédétection appliquée à l'hydrologie seraient les outils les mieux adaptés pour délimiter les territoires hydrologiques. Dans le cas de ce travail, la carte d'occupation du sol permettrait de délimiter la zone humide centrale et l'image TanDem de compléter l'information le réseau hydrologique linéaire et l'indice topographique d'humidité.

2. L'analyse multicritère des descripteurs permettrait d'identifier les zones humides qui ont un fort potentiel de régulation de l'environnement.

3. En prenant en compte les différentes affectations et mode d'occupation des terres, on pourrait proposer des mécanismes de gestion durable selon la législation en vigueur en République Gabonaise.

## 6. Approche méthodologique

Notre méthodologie repose sur un modèle hypothético-déductif. En tant que telle, elle a pour point de départ une recherche bibliographique. Cette étape nous a permis, dans un premier temps, de définir une question de recherche, de dégager le cadre de connaissance scientifique propre à notre zone d'étude et à la gestion durable des aires protégées. Elle nous a également permis de sélectionner et d'acquérir les outils, les méthodes et les données.

Les données utilisées sont de deux ordres : les données préexistantes et les données acquises directement terrain. L'ensemble de ces données a permis de réaliser un plan de zonage du site Ramsar du Bas Ogooué en deux grandes étapes : la délimitation de la zone humide et la délimitation des zones de conservation à partir de l'étude des fonctions des zones humides (figure 3, ci-après).

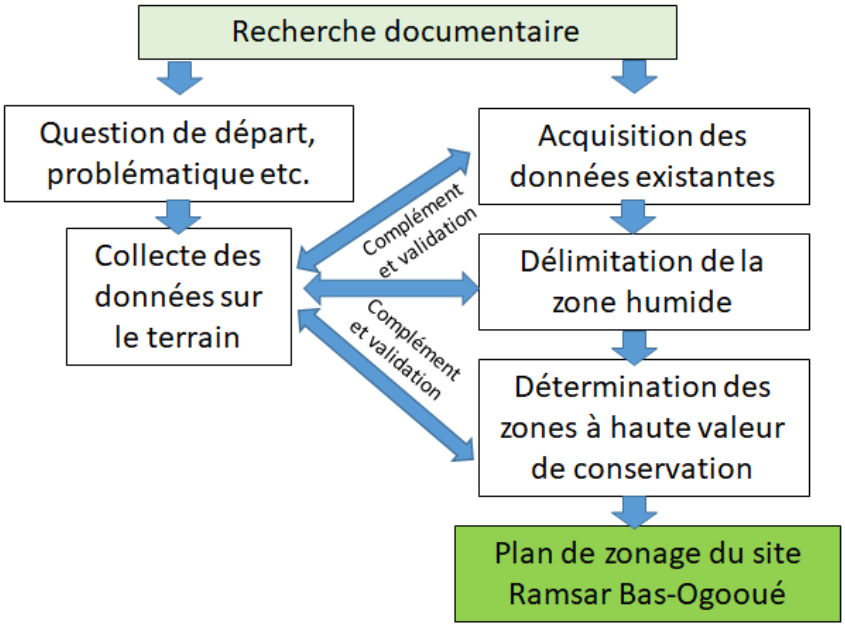



**Figure 3: Organigramme méthodologique**

## 6.1. Délimitation de la zone humide et des unités hydrogéomorphologiques

La délimitation de la zone humide du site Ramsar Bas Ogooué présentée dans ce travail est la résultante d'un croisement des couches issues des données de diverses sources. Elle repose sur la méthode de Rapinel (2012) qui se base sur la combinaison d'un ensemble de couches pour générer la zone humide potentielle qui intègre aussi bien les zones fonctionnelles que celles qui ont perdu leur caractère humide par le biais du remblaiement, de la bétonisation des surfaces etc.

Cette méthode permet de cerner la zone humide dans toute son étendue, avant de la ramener, au fur et à mesure à la zone humide actuelle qui intègre les zones humides permanentes et temporaires. Les couches permettant d'aboutir à cette délimitation sont :

- Il s'agit dans un premier temps des couches de type alluvions issues de la carte géologique (Magaya-Mikolo F. et Ekogha H. H., 2016) qui donnent une première enveloppe de zones humides potentielles. Ces sols sont caractéristiques des zones humides (Schnebelen N. et Laroche B., 2013)
- Dans un second temps, l'enveloppe des zones humides est complétée à partir de critères topographiques, en l'occurrence l'Indice Topographique d'humidité (TWI). L'indice TWI concentre les valeurs d'accumulation où les plus élevées

correspondent généralement aux milieux humides. Ces données offrent un potentiel indéniable pour la détection des milieux humides (Verin M.,2021). Il est calculé à partir de l'image TanDem X, selon la formule :

$$TWI = ln\left(\frac{SCA}{\tan\beta}\right)$$

Où SCA est l'aire de drainage spécifique et $\beta$ l'angle de la pente

L'« aire de drainage spécifique» (nombre de pixels) représente la surface sur laquelle chaque goutte d'eau qui tombe ruissellera jusqu'au pixel en question ;β est la pente moyenne du pixel en question exprimée en degré (Rapinel S., 2012).

- Enfin, la carte d'occupation du sol permet d'affiner les résultats concernant les zones humides, en prenant en compte les habitats humides uniquement (marais, eau libre, forêts marécageuses…). Par la suite la couche représentant le bâti a été utilisée pour soustraire les zones potentiellement bétonnées. On obtient ainsi une deuxième enveloppe de zone humide correspondant à la zone humide effective selon Mérot P. et *al* (2006). Cette zone humide effective constituera le masque de toutes les autres analyses dans la zone humide.

Selon Maltby E. et *al.* (1996) l'identification des unités hydrogéomorphologiques (HGMU) doit théoriquement reposer sur la combinaison de trois critères relevant de la pédologie, de la topographie et éventuellement de la végétation si le site étudié est géré de façon homogène. Or, le critère pédologique n'est pas détectable par télédétection et les informations disponibles ne sont pas assez précises (200 000ème) et datent de 1973 (Collinet J. et Martin D., 1973). Le critère de végétation est disponible à partir des cartes d'occupation du sol dérivées des données Sentinel 2, mais la variabilité spatiale des modes de gestion au sein d'un bassin versant ne permet pas d'intégrer ce critère dans la démarche d'identification des HGMU.

L'unité géomorphologique permet une démarche de spatialisation pour une approche fonctionnelle des zones humides. Elle sectionne la zone humide en quatre compartiments : les surfaces en eau, les dépressions, les talus et bourrelets. La délimitation et la caractérisation des HGMU ont été effectuées à partir de données TanDem X. Cette donnée semble suffisamment précise pour identifier les variations

topographiques au sein des zones humides aussi bien à l'échelle fine (1/5 000ème) que moyenne (1/25 000ème)

## 6.2. Détermination des fonctions et zonage du site Ramsar du Bas Ogooué

Quatre fonctions des zones humides ont été inventoriées sur l'ensemble de la zone humide effective. Il s'agit des fonctions de soutien aux étiages, d'écrêtage de crues, dénitrification et biodiversité potentielle. L'intensité de ces fonctions a été mesurée à partir des unités hydrogéomorphologiques et de 18 autres descripteurs par la méthode d'analyse multicritère (tableau 1 ci-après).

Si les unité hydrogéomorphologiques (HGMU) permettent de mesurées l'intensité des fonctions selon les différents compartiments, les descripteurs sont en réalités les éléments de l'environnement pouvant agir négativement ou positivement sur la fonction étudiée. L'influence de chaque descripteur ou composante du descripteur est notée sur cinq : « zéro » représentant l'absence d'incidence, « un » une influence faible ou mauvaise et « cinq » une influence très forte ou un apport très bon pour la fonction.

Si la lecture des différentes fonctions permet de faire ressortir les zones humides fonctionnelles, il convient toutefois de prendre en compte les services et les valeurs fournies par la zone humide. C'est l'analyse multicritère basée de cet ensemble qui a permis d'identifier les zones humides à haute valeur de conservation (zone dont le score est supérieur ou égale à trois), puis de délimiter les zones centrales ou dites de conservation.

**Tableau 1 : Descripteurs utilisées dans l'analyse des fonctions et des zones à haute valeur de conservation**

| Résultats | Descripteurs | Méthodologie |
|---|---|---|
| Fonctions de soutien à l'étiage d'écrêtage de crues, dénitrification et biodiversité potentielle. | Présence/absence des fossés d'écoulement<br>Densité du réseau de drainage<br>Rapport longueur de la zone humide sur longueur de contact du versant<br>Longueur entre la zone humide et le versant par type linéaire<br>Densité des éléments boisés<br>Connectivité des routes<br>La microtopographie<br>Indice topographique d'humidité (TWI)<br>Rugosité de la végétation<br>Densité des surfaces en eau et des systèmes humides des bas-fonds<br>Transpiration de la végétation<br>Irrigation<br>Densité de la végétation hydromorphe<br>Indicateur de productivité<br>Mode de gestion des prairies<br>Composition de l'occupation des sols et des types de végétation<br>Durée d'inondation | Analyse multicritère |
| Les zones humides à haute valeurs de conservation | fonction de soutien à l'étiage<br>fonction d'écrêtage de crues<br>fonction de dénitrification<br>fonction de biodiversité potentielle.<br>Valeurs de la zones humides (flore et faune remarquable)<br>Services rendues par la zones humide (stockage de carbone, activités anthropiques etc.) | |

Le plan de zonage a été réalisée selon les recommandation du Secrétariat de la Convention Ramsar (Ramsar,2010). Parmi les zonages qu'elle propose, nous avons opté pour celui des zones de biosphères, compte tenu de la complexité de l'utilisation des sols dans le site. Ainsi le plan zonage tient compte de trois zones : La zone centrale qui correspond aux zones de conservation, la zone tampon qui sert de zone de transition avec les activités industrielles reléguées à la zone périphérique.

## 7. Difficultés rencontrées

La difficulté notoire rencontrée a été le problème d'accessibilité aux données, qui nous a contraint à réorienter certains aspects méthodologiques de ce travail. En effet, la partie relative à la qualité saisonnière des eaux de surface n'a pu être abordée, en raison de l'absence des réacteurs au Laboratoire des mines et de la Géologie durant les années Covid.

Cette recherche doctorale ayant bénéficié du support de l'Agence Nationale des Parcs Nationaux dans le cadre du Projet d'Appui à la gestion des Zones Humides, les difficultés rencontrées n'auraient pu être d'ordre logistique. En revanche, nous avons eu du mal à approcher certaines communautés sous le label « ANPN ». Ces dernières sont réticentes de prime abord à cause de fréquentes activités de répression et de saisie des écogardes exerçant leurs missions régaliennes.

Du reste, lorsqu'on se lance dans un travail de géographie physique, il faudrait s'attendre, évidemment, à passer des nuits inconfortables dans la nature, à travailler dans des environnements difficiles et à cumuler de longues nuits de travail et de réflexion. Nous ne saurons apprécier s'il s'agit réellement des difficultés, mais tels ont été les aspects que nous avions jugé difficiles, mais à la fois instructifs et passionnants.

## 8. Structure de la thèse

Le travail d'analyse et de réflexion mené dans cette thèse comporte trois parties :

La première partie pose le cadre théorique et aborde le contexte du milieu physique, la structure du cadre social, ainsi que la mise en lumière des contextes clés qui entourent cette recherche ;

La deuxième partie porte essentiellement sur la délimitation des zones humides, leur évaluation fonctionnelle, ainsi que la désignation des zones humides centrales ou à Haute Valeur de Conservation.

Enfin, la dernière partie aborde, d'une part, les aspects d'analyse d'adéquation inadéquation des activités actuelles, et de zonage et, d'autre part, les outils de gestion envisageables afin d'optimiser l'utilisation rationnelle des zones humides.

# PREMIERE PARTIE : INTRODUCTION AUX CONCEPTS DE LA RECHERCHE ET CARACTERISTIQUES ENVIRONNEMENTALES DU SITE D'ETUDE

Les zones humides sont sensibles, participent au maintien de la biodiversité et, sont au centre de nombreux débats internationaux. Cela, notamment à cause de leurs délimitations, et aussi des services qu'elles fournissent et de leur intégration aux cadres urbains. L'une de ces zones humides, le site Ramsar du Bas Ogooué constitue une véritable richesse pour l'écosystème présent dans cette zone.

Ce site est reconnu d'importance internationale et occupe une place particulière dans un essai de gestion des espaces naturels hétérogènes regroupant, à la fois une riche biodiversité et de nombreux lieux habités, une étiquette de zone de conservation et de multiples activités extractives.

En dépit de son potentiel, le Site ne fait pas parti du réseau national des parcs nationaux. Les activités forestières sont majoritairement présentes, et les opérateurs en sont principalement les sociétés étrangères. Au-delà de l'exploitation forestière et de l'extraction des ressources légales, des formes d'exploitations illégales sont nuisibles pour l'environnement et empiètent sur les objectifs de conservation.

Au travers de leurs différentes activités, telle l'orpaillage illégal, les populations riveraines et celles venant d'ailleurs, entrainent une déforestation massive et le développement de plusieurs types de trafics menaçant ainsi l'intégrité des écosystèmes, voir des populations riveraines.

Cette première partie constitue la porte d'entrée de notre étude dans le sens où elle aborde, de façon détaillée, les différents contextes rattachés à notre objectif. Ansi, elle s'articule autour de trois grands points distincts : le premier s'intéresse aux caractéristiques physiques et biologiques du site, tandis que le second aborde les spécificité socio-économiques et environnementale ; Enfin le dernier aborde les concepts des aspects techniques développées dans cette recherche doctorale.

# CHAPITRE 1 : LES FONCTIONNALITES ET LE ZONAGE DES ZONES HUMIDES

Le présent chapitre se consacre au contexte théorique de l'étude des fonctionnalités et de zonage dans les zones humides. Ce chapitre constitue la porte d'entrée pour asseoir la compréhension des éléments nécessaires au zonage objectif du site. Il consiste donc à une revue de lecture sur les concepts et méthodes adaptés au contexte du site Ramsar Bas Ogooué.

Les zones humides sont des systèmes d'eau connectés dans le paysage, et ont un rôle fondamental dans les cycles global et local de l'eau. A cet effet, elles ont plusieurs fonctions : hydrologiques pour la recharge des nappes en situation d'étiage, biogéochimiques par exemple dans le piégeage des sédiments et polluants, ou d'habitat relatif à la reproduction ou pour se protéger des espèces prédatrices.

Néanmoins, toutes les différentes zones n'ont pas les fonctions. Le chapitre qui suit présente :

- primo, les généralités sur les zones humides, notamment sur les questions de définitions, des enjeux de conservation et en dresse une typologie selon divers auteurs ;
- secundo, les fonctions, services et valeurs des zones humides ;
- tertio, la question de zonage, ainsi que l'apport des SIG et de la télédétection dans cet exercice.

## 1.1. Généralité des zones humides

### 1.1.1. Qu'entend-on par zone humide ?

Le terme « zone humide » (en anglais : « *wetland* ») apparaît, pour la première fois, dans les années 60 comme l'objet de préoccupation des naturalistes et, plus précisément, des ornithologues. La tendance à l'époque était au drainage des marais pour répondre aux besoins agricoles, à la modification, voire le comblement des lits des cours d'eau, au bénéfice de l'urbanisation, à l'exploitation de la tourbe, etc. Cependant, une lente maturation des esprits va conduire à réhabiliter dans l'esprit public l'intérêt de ces espaces de terre et d'eau, à enrayer l'idée selon laquelle les zones humides étaient des espaces insalubres et malsains.

Dans cette réhabilitation des terres d'eau, la première avancée majeure va être de l'ordre du droit international. En effet, les zones humides seront les premiers milieux naturels à faire l'objet d'une convention de protection, près de 70 ans après les espèces animales dont le commerce avait été réglementé dès le début du 20ème siècle. Ainsi, en 1971, sur les bords de la Mer Caspienne, dans la ville iranienne de Ramsar nait la convention éponyme.

Les territoires humides sont présents à l'intérieur de toutes les zones climatiques. Elles renferment un grand nombre d'écosystèmes, à tel point que leur étendue actuelle n'est pas connue avec exactitude. Le Centre mondial de surveillance continue de la conservation de la nature du PNUE (UNEP-WCMC) propose une estimation d'environ 570 millions d'hectares, soit 6% de la superficie émergée de la planète, dont les tourbières constituent la majorité (Ramsar, 2016).

La présence de zones humides est conditionnée par les caractéristiques géomorphologiques et géologiques singulières : ces milieux sont en effet structurés par l'hydrodynamique, qui contrôle leur fonctionnement et leur dynamique. Les flux, les niveaux d'eau et leurs périodicités révèlent des conditions d'hydromorphie du sol et des réponses des organismes vivants, en particulier de la végétation. Ces conditions font des zones humides des milieux très diversifiés, singuliers et variables dans le temps et l'espace. Cette variabilité pose une difficulté quant à leur définition, tant d'un point de vue scientifique que législatif (Barnaud G. et Fustec E., 2007).

Si certaines zones humides comme les lacs permanents et les rivières, sont facilement identifiables en tant que zones humides, *à contrario* d'autres sont plus difficiles à identifier. En raison de la diversité des habitats, des difficultés de l'identification des zones humides et du large éventail d'objectifs pour lesquels la politique et la législation ont été élaborées, il y a actuellement une variété de définitions de zones humides. Au début des années 90, Dugan P. (1993) estimait déjà à plus de 50 les définitions générales utilisées de par le monde.

Si les caractéristiques générales de plusieurs zones humides sont relativement aisées à identifiées, une définition précise de zone humide est toujours en débat et sujette à

controverse. Néanmoins, la nécessité de définir ce terme, traduction littérale de *wetland* lui-même d'usage récent dans ces pays anglophones, est apparue indispensable pour faciliter la communication ainsi que l'application des conventions et réglementations sur ces milieux.

Créé en 1970, le groupe intersectoriel français sur les zones humides qui comprend toutes les agences gouvernementales pertinentes et tous les acteurs clés, admet que l'expression « zone humide », a été rapidement acceptée, mais sans accord unanime sur son extension. Ce groupe définit les terres humides comme « *des habitats dans lesquels le plan d'eau salée ou douce est situé à la surface du sol ou à proximité de cette surface, et qui supportent une végétation adaptée à un engorgement plus ou moins continu* ». (Rapinel S., 2012). Ce texte précise quelque peu la définition de Ramsar en ajoutant le critère de « végétation adaptée », mais qui reste assez flou. Ces deux définitions qui permettent de prendre en compte la diversité des milieux humides à l'échelle mondiale sont, de fait, trop larges et engendrent, par conséquent, des difficultés liées à la délimitation de ces milieux en raison de la spécificité de chaque site.

### 1.1.2. Enjeux de conservation des zones humides

Entre 1970 et 2015, environ 35% des zones humides de la planète ont disparu et le rythme de disparition s'est accéléré depuis 2000. Cette destruction est le résultat de grandes tendances telles que les changements climatiques, la démographie galopante, l'urbanisation (en particulier des zones côtières et des deltas fluviaux) et l'évolution des modèles de consommation, responsables des changements intervenus dans l'utilisation des terres, des eaux et dans l'agriculture (UNFCCC, 2018).

Les zones humides sont capitales pour toutes formes de vie sur la planète. En effet, plus d'un milliard de personnes en dépendent pour leur subsistance, et 40% des espèces vivent et se reproduisent dans les zones humides (Voisin R., 2021, Eau-France 2018). Elles sont une source vitale d'aliments, de matières premières, de ressources génétiques pour la pharmacopée et d'énergie hydroélectrique ; elles atténuent les crues, protègent les littoraux, renforcent la résilience des communautés aux catastrophes, et jouent un rôle important dans le transport, le tourisme et le bien-être culturel et spirituel de tous les peuples (Ramsar, 2018).

Des études montrent que la valeur économique des services, fournis par les zones humides, dépassent largement celle des écosystèmes terrestres. La valeur économique totale des zones humides intérieures est estimée cinq fois plus élevée que celle des forêts tropicales. Les zones humides jouent également un rôle essentiel dans les efforts de régulation du climat mondial. Les tourbières, par exemple, ne couvrent que 3% de la superficie de la planète ; mais, elles stockent deux fois plus de carbone que toutes les forêts du monde.

Et pourtant, les zones humides restent relativement sous-évaluées dans les plans nationaux des décideurs et législateurs. C'est une omission inexplicable si l'on en juge par le rôle pivot que jouent les zones humides en permettant la réalisation des engagements mondiaux relatifs aux changements climatiques, au développement durable, à la biodiversité et à la réduction des risques de catastrophe**.** Les zones humides constituent l'écosystème le plus précieux sur le plan économique et parmi les plus riches du monde pour la biodiversité (Ramsar, 2018).

Ainsi, les zones humides sont l'infrastructure aquatique naturelle de la Terre, fournissant une source d'eau propre et stockant l'eau douce, leur perte et leur dégradation intensifient directement les problèmes d'approvisionnement en eau et compromettent le bien être humain (Ramsar, 2013). Directement ou indirectement, elles fournissent presque toute l'eau douce consommée dans le monde (UNFCCC, 2018).

Cependant, il ne faut pas oublier que l'eau est au cœur des enjeux de développement socio-économique (FAO, 2015). Sa disponibilité et sa maîtrise constituent un facteur déterminant pour le développement humain et la croissance économique du continent africain. De plus, les mauvaises pratiques dans l'usage des ressources naturelles peuvent amener, entre autres, à la détérioration de la qualité de l'eau, à la diminution de la biodiversité, à l'augmentation des risques d'inondations et à la prolifération des espèces aquatiques envahissantes. Ces pratiques constituent donc des menaces sérieuses pour la santé humaine et celle de l'environnement.

Par ailleurs, la faible connaissance quantitative et qualitative des eaux de surface et souterraines constitue un handicap sérieux pour la formulation de politiques et la mise en œuvre de pratiques appropriées de gestion de la ressource. En outre, les limites des

mécanismes et cadres de concertation existants, entre les parties prenantes, freinent la participation effective des acteurs du secteur.

Il n'y a donc pas de zones humides sans eau et pas d'eau sans zones humides. Ainsi, il est important de préserver les zones humides pour garantir l'accès en quantité et en qualité à la ressource rare qu'est l'eau. Elles jouent un rôle de premier plan dans le cycle de l'eau (Eau France, 2021).

### 1.1.3. Typologie des zones humides

Les zones humides constituent des milieux où l'eau est le principal facteur de maîtrise de l'environnement, de la vie végétale et animale associée. Elles s'implantent là où la nappe d'eau est près de la surface de la terre et où la terre est recouverte d'eau. La Convention de Ramsar adopte une approche large pour déterminer les zones humides qui relèvent de son mandat.

De façon conventionnelle, six grands types de zones humides, sont généralement, reconnus (Barbier Edward et *al*, 1997 ; Ramsar, 2016) :

- marine : pour les zones non soumises à l'influence fluviale (littoraux, récifs coralliens, lagunes) ;
- estuarien : pour désigner les régions où les fleuves se jettent dans la mer et où les eaux ne sont ni salées ni douces (les deltas ; les marais littoraux, et vasières et mangroves) ;
- lacustre : pour les zones où les eaux permanentes sont quasi-intactes, y compris les zones humides associées ;
- fluvial : qui renvoie aux zones humides le long des rivières et des ruisseaux (les prairies humides, les forêts inondées, les lacs de méandres) ;
- palustre : où l'on trouve des eaux plus ou moins permanentes (les marécages à papyrus, les marais, les fagnes, les tourbières) ;
- anthropique : étangs aquacoles, terres agricoles irriguées y compris les rizières, marais salants, barrages, réservoirs, gravières, eaux usées, bassins et canaux de traitement.

Toutefois, la Convention a adopté finalement une classification de 42 types de zones humides regroupées en trois catégories : marine et côtière, intérieures et anthropique.

Par ailleurs, toutes ces zones ne sont pas forcément une représentation fidèle des écosystèmes retrouvés dans tous les États. Il conviendrait par la suite, pour chacun d'eux, à contextualiser cette liste selon leur paysage naturel ou selon un autre type de classification.

Le site Ramsar Bas Ogooué peut être considéré comme une zone humide deltaïque des régions subtropicales. Occultée de la partie côtière et marine par la délimitation actuelle du site, on ne retrouve en son sein que des écosystèmes appartenant aux groupes des zones humides intérieures et des zones humides anthropiques. Sur les 42 types de zones humides reconnues par la Convention Ramsar, le site Bas Ogooué présente potentiellement 22 types de zones humides appartenant aux catégories zones humides intérieures et zones humides anthropiques (tableau 2 ci-après). Pour contextualiser, il faudrait ajouter l'écosystème des savanes inondables que l'on retrouve dans les plaines des lacs Ingoyo ou Evaro.

**Tableau 2: Les différents types de zones humides selon la Convention RAMSAR**

| Groupe | Code | Nom du type |
|---|---|---|
| **Zones humides intérieures** | 1 | Deltas intérieurs permanents |
| | 2 | Rivières/ruisseaux/ruisseaux permanents (y compris les chutes d'eau) |
| | 3 | Rivières/ruisseaux/ruisseaux saisonniers/intermittents/irréguliers |
| | 4 | Lacs permanents d'eau douce de plus de 8 ha |
| | 5 | Lacs salins/saumâtres/alcalins permanents |
| | 6 | Lacs et plaines salines/saumâtres/alcalines/saisonnières/intermittentes |
| | 7 | Marais/mares permanentes/salines/saumâtres/alcalines |
| | 8 | Marais/mares salines/saumâtres/alcalines saisonnières/intermittentes |
| | 9 | Marais/mares d'eaux douces pérennes |
| | 10 | Marais/mares d'eau douce saisonniers/intermittents sur sols inorganiques |
| | 11 | Tourbières non boisées |
| | 12 | Zones humides dominées par les arbustes |
| | 13 | Zones humides dominées par les arbres |
| | 14 | Tourbières boisées |
| | 15 | Sources d'eau douce |
| | 16 | Karst et autres systèmes hydrologiques souterrains, à l'intérieur des terres |
| | 17 | Savanes inondables |
| Zones humides artificielles | 18 | Étangs d'aquaculture |
| | 19 | Étangs |
| | 20 | Terres irriguées |
| | 21 | Zones de stockage d'eau |
| | 22 | Fouilles |
| | 23 | Canaux et caniveaux de drainage, fossés |

Source : Ramsar (modifié)

## 1.2. Fonctions, services et valeurs

### 1.2.1. Les fonctions d'une zone humide

Les termes « fonction, services et valeurs sont des termes importants dans la planification, l'aménagement et la gestion des zones humides (Kusler J., 2004 ; Rapinel S., 2012).

Les fonctions des écosystèmes sont définies comme la capacité des processus naturels et des éléments de systèmes naturels ou semi-naturels à fournir des biens et services qui satisfont l'Homme (De Groot R.S., 1992). Du reste, Frontier S. et Pichod D., (1993)

précisent que les fonctions font référence à la structure et aux processus des zones humides qui dépendent des contraintes géomorphologiques et hydrologiques.

Au fur et à mesure que la connaissance scientifique sur les zones humides progressait, des biens et services, plus subtils, étaient mis en évidence. Les zones humides ont été décrites, à la fois, comme les « reins du paysage » pour les fonctions qu'elles remplissent dans les cycles hydrologiques et chimiques et comme des « supermarchés biologiques » en raison des grandes chaînes alimentaires et de la riche diversité biologique qu'elles entretiennent (Mitsch & Gosselink, 1993).

De nombreux auteurs ont travaillé sur les fonctions des zones humides et on en dénombre plus d'une dizaine, qu'il conviendrait de regrouper en 3 classes, notamment : Les fonctions hydrologique, écologique et biogéochimique (tableau 3, ci-après).

**Tableau 3: Les fonctions, effets et valeurs socio-économiques correspondantes des zones humides**

| Fonctions | Effets | Valeurs socio-économiques | Indications |
|---|---|---|---|
| **Hydrologique** | | | |
| Stockage de l'eau de surface à court terme | Réduction des pics d'inondation en aval | Réductions des dommages liés aux inondations | Présence de plaine d'inondation le long des corridors fluviaux |
| Stockage de l'eau de surface à long terme | Maintien de flux de base, répartition saisonnière des flux | Maintien des habitats pour les poissons en période sèche | Topographie de la plaine d'inondation |
| Maintien d'un niveau élevé de nappe | Maintien des communautés d'hydrophytes | Maintien de la biodiversité | Présence d'hydrophytes |
| **Biogéochimiques** | | | |
| Transformation, recyclage des éléments | Maintien de stocks de nutriments dans la zone humide | Production de bois | Croissance des arbres |
| Rétention, élimination de substances dissoutes | Réduction du transport de nutriments en aval | Maintien d'une eau de qualité | Sortie de nutriments inférieure aux entrées |
| Accumulation de tourbe | Rétention de nutriments, métaux, autres substances | Maintien d'une eau de qualité | Augmentation de la profondeur de tourbe |
| Accumulation de sédiments inorganiques | Rétention de sédiments et de certains nutriments | Maintien d'une eau de qualité | Augmentation de la profondeur de sédiments |
| **Fourniture d'habitat et de réseaux trophiques** | | | |
| Maintien de communautés végétales caractéristiques | Nourriture, reproduction de la faune | Production d'animaux à Fourrure et d'oiseaux d'eau | Végétation mature de zone humide |
| Maintien de flux d'énergie caractéristique | Développement de population de vertébrés | Maintien de la biodiversité | Forte diversité de vertébrés |

Source : Rapinel S., 2012

Selon les études Chisty P. (1999), Vande Weghe J. P. et Stevart T. (2017), il ne fait aucun doute que les écosystèmes du site Bas Ogooué remplissent ces trois fonctions vitales. Néanmoins l'étude des fonctions dont il est question dans cette recherche devrait permettre d'identifier les zones où ces processus se déroulent, ainsi que leur intensité (chapitre VIII).

### 1.2.2. Typologie fonctionnelle et évaluation des fonctions

L'évaluation des fonctions des zones humides permet de dresser l'état de ces dernières, leur efficacité, les priorités de gestion. En effet selon Merot P. et *al* (2006), il faut appréhender la zone humide selon trois compartiments (figure 4, ci-après) :

- *Les zones humides potentielles* (ou milieux potentiellement humides), il s'agit des zones qui, selon les critères géomorphologiques et climatiques devraient présenter les caractéristiques d'une zone humide ; elles représentent en quelque sorte l'enveloppe extérieure maximale d'extension des zones humides.

- *Les zones humides effectives* qui se trouvent à l'intérieur du premier niveau, présentent des caractéristiques identifiables de milieu humide (correspondant aux critères définis par la Loi sur l'eau de 1992 (Gabon ?) notamment par la présence de sols hydromorphes et de végétations hygrophiles), ces caractères ont pu disparaître dans les milieux potentiellement humides du fait notamment d'aménagements (drainage, désalinisation, endiguement...).

- *Les zones humides efficaces*. Cette notion d'efficacité est propre à une fonction particulière (fonction hydrologique, épuratrice, biodiversité, paysagère…). La zone humide efficace peut bien sûr être définie différemment selon la fonction considérée.

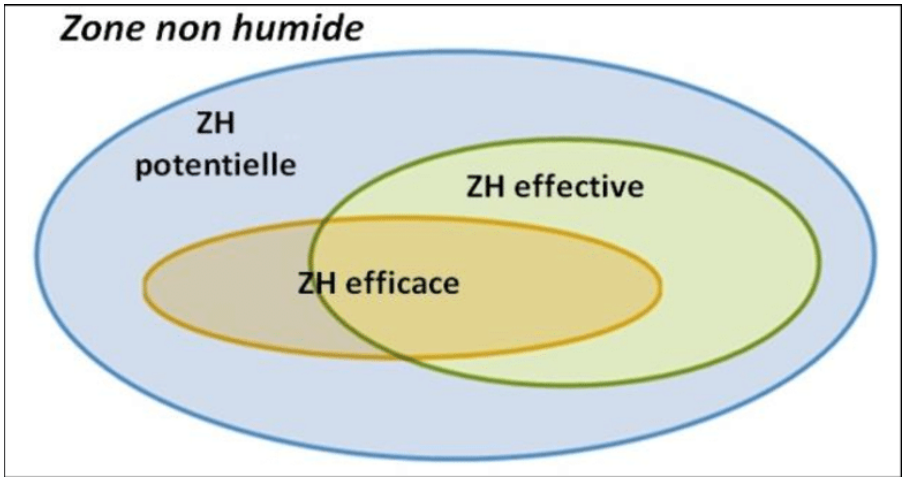



**Figure 4: Représentation de l'organisation des zones humides selon l'approche PEE (d'après Mérot et al., 2006).**

Les zones humides sont aujourd'hui reconnues pour leurs fonctions. Cependant, la mesure de leurs intensités nécessite un protocole terrain lourd et des connaissances

scientifiques spécifiques à chaque fonction. Si la mesure des fonctions semble difficile à envisager dans une démarche opérationnelle, en revanche l'évaluation des fonctions, c'est-à-dire l'estimation approximative de leur intensité (Fustec E. et Lefeuvre J.C., 2000), semble plus appropriée.

Néanmoins, l'évaluation des fonctions des zones humides reste problématique, en raison d'une part de leur variabilité spatio-temporelle, et d'autre part des méthodes à mettre en œuvre pour réaliser cette évaluation. Pourtant, cette dernière est nécessaire car elle rend compte des services et valeurs apportés par une zone humide à la société. De fait, l'évaluation fonctionnelle des zones humides contribue à la reconnaissance et à la protection de ces milieux par les gestionnaires. Elle nécessite d'avoir au préalable identifié et caractérisé les zones humides.

Les zones humides, nous l'avons vu, sont des écosystèmes importants et extrêmement productifs. Elles constituent encore une ressource nationale d'importance vitale et elles font souvent l'objet d'initiatives rurales et/ou nationales de développement. Cependant, les grands projets de développement omettent souvent de tenir compte : des modes traditionnels d'utilisation des zones humides adoptés par les communautés locales ; des retombées que les nouvelles stratégies de développement ont inévitablement sur la sécurité alimentaire de ces populations ; des fonctions des zones humides, dont la valeur commerciale est extrêmement importante mais généralement difficile à évaluer (Skyner J et *al.*, 1994).

### 1.2.3. Les notions de services rendues par les zones humides

Le Millenium Ecosystem Assessment (MEA) définit les services écosystémiques comme les bénéfices que les écosystèmes fournissent aux humains. De façon plus précise, les services rendus par les écosystèmes désignent les bénéfices que l'Homme peut tirer des processus naturels à travers la fourniture de biens matériels, la valorisation de modes de régulation écologique, l'utilisation des écosystèmes de support à des activités non productrices de biens matériels, les biens matériels correspondant aux valeurs des écosystèmes (figure 5, ci-après). Les services se rapportent donc à des impacts positifs des écosystèmes sur le bien-être humain. Les biens écologiques regroupent tout ce que la nature met à notre disposition : la nourriture, les matières premières et matériaux de

construction, l'eau douce, l'air, les substances médicinales et pharmaceutiques naturelles, huiles essentielles, résines, graisses végétales etc. (UICN, 2012).

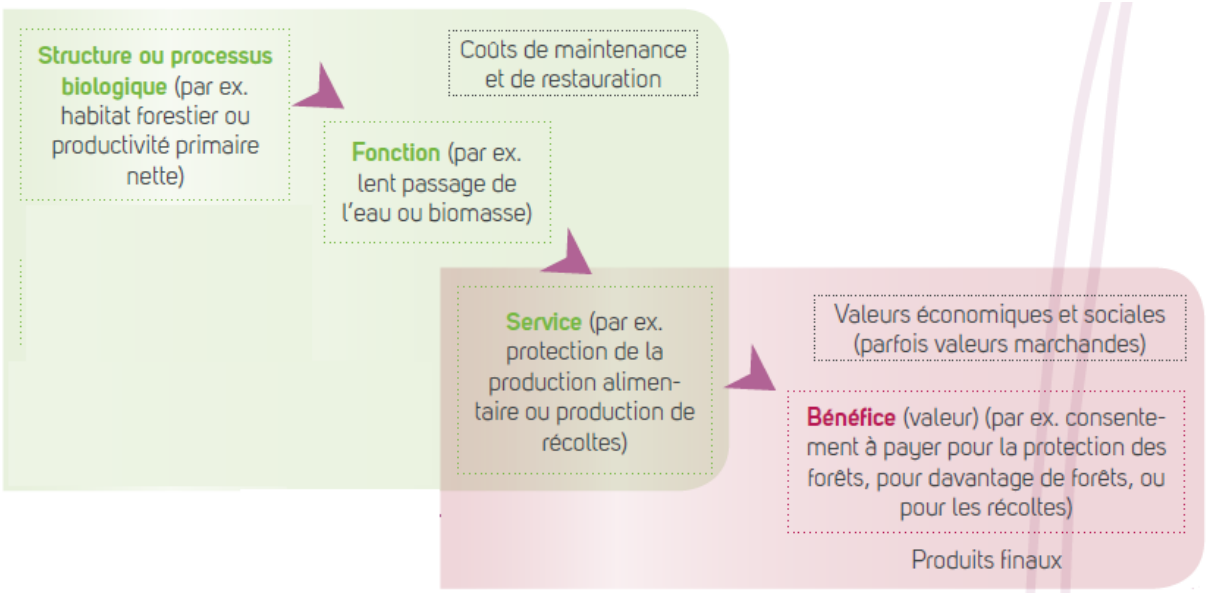



**Figure 5: Liens entre la biodiversité, la production de biens et services écologiques et les bénéfices retirés par l'Homme**

**Source : UICN, 2012**

Le Millenium Ecosystem Assessment distingue trois grands types de services écosystémiques (figure 6, ci-après), à savoir :

- Les services de régulation découlent des fonctions des zones humides positives pour la collectivité, par la régulation des systèmes naturels (écrêtement des crues, soutien des étiages, régulation du climat…) ;

- Services d'approvisionnement (ou de production) : sont à l'origine des « produits finis » que procurent les écosystèmes, comme la production de nourriture, de fibres, d'eau douce ou encore la mise à disposition de ressources génétiques ;

- Services culturels correspondent aux services non matériels obtenus des écosystèmes à travers l'enrichissement spirituel, le développement cognitif, la réflexion, l'inspiration artistique ou les loisirs. Ceux-ci nous permettent de développer et entretenir nos systèmes de savoir, nos relations sociales et nos valeurs esthétiques.

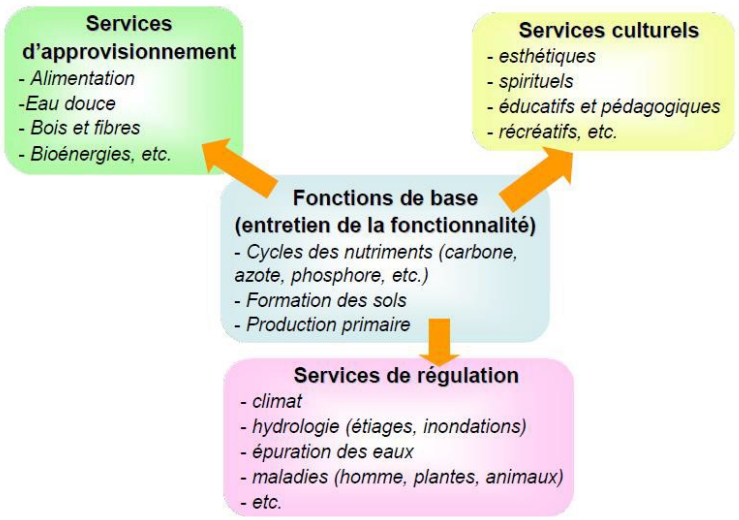



**Figure 6: Réseaux de de services fournis par les écosystèmes**

Sur le réseau de services écosystémique existants, la Convention Ramsar à travers une série de 10 fiches publiées en 2001 et actualisé en 2011 reconnaît 10 grands réseaux de services rendus par les zones humides :

1- La maîtrise des crues
2- La recharge des eaux souterraines
3- La stabilisation du littoral et protection contre les tempêtes
4- La rétention et exportation des sédiments et matières nutritives
5- L'épuration de l'eau
6- Les réservoirs de diversité biologique
7- Les produits des zones humides
8- Les valeurs culturelles
9- Les loisirs et tourisme
10- L'atténuation des changements climatiques et adaptation.

Précisons que les écosystèmes sont sources de nombreux bienfaits pour les populations et leur surexploitation est la raison de leur dégradation, avec pour conséquences la perte de la diversité biologique et la menace de disparition de certaines espèces d'origine végétale et/ou animale. Ainsi, en 2005, l'évaluation des écosystèmes pour le Millénaire par l'organisation des Nations-Unies a montré que sur 24 services écosystémiques étudiés, 15 d'entre eux étaient dégradés ou utilisés de façon non durable avec des impacts directs sur les populations vulnérables.

Or, les écosystèmes des zones humides font partie de notre patrimoine naturel et nous apportent chaque année, de façon gratuite, des services précieux concourant à la santé et au bien-être humain. Si en substance la transformation des ressources environnementales permet des améliorations en termes de bien-être, les pressions relatives subies par les écosystèmes compromettent leur capacité à générer des biens et services, avec des conséquences sociales et économique importantes, surtout pour les communautés les plus vulnérables (UICN, 2013). En 2050, la planète devrait compter 9 milliards d'habitants. Les pressions sur les ressources en eau augmentent et les changements climatiques sont de plus en plus menaçants. De fait, la nécessité de sauvegarder et d'augmenter le plus possible les avantages procurés par les zones humides n'ont jamais été aussi impérieuse.

### 1.2.4. Valeurs retirées des zones humides

Selon une étude du PNUE, 40% de l'économie mondiale reposerait sur les produits et les processus écologiques. Parfois méconnus, les zones humides offrent pourtant d'énormes avantages économiques, notamment en ce qui concerne la pêche (plus des deux tiers de la récolte mondiale de poissons sont liés à la santé des zones humides), l'approvisionnement en eau (quantité et qualité) pour l'agriculture, à travers le maintien des nappes phréatiques et la rétention des nutriments dans les plaines inondables ; le bois, les ressources énergétiques, telles que la tourbe et la matière végétale ; les ressources fauniques; le transport etc. On estime que plus d'un milliard de moyens de subsistance dans le monde sont entièrement ou largement dépendantes des zones humides (Ramsar 2018)

Les écosystèmes naturels de par leur diversité biologique procurent une variété de biens et services dont la fourniture continue est essentielle pour le bien-être et la prospérité économique des humains. La maîtrise des relations qui traduisent le passage des fonctions écologiques des écosystèmes naturels à leurs utilisations par l'Homme permet de développer un cadre théorique opérationnel pour l'évaluation économique. C'est également un postulat pour montrer leur importance et justifier la prise en compte de ces dernières dans les plans de développement locaux, régionaux et nationaux (Somda J. & Awaïs A., 2013).

La figure 7 ci-après met en évidence la chaîne logique du fonctionnement des milieux humides jusqu'à la production à la distribution des biens et services écosystémiques dans l'économie. L'introduction d'inputs d'ordre anthropique permet d'exploiter les fonctions écologiques afin de produire des biens susceptibles d'améliorer le bien-être humain. La valeur économique de tous ces biens et services environnementaux distribués dans le temps et dans l'espace détermine la valeur économique totale de l'écosystème naturel.

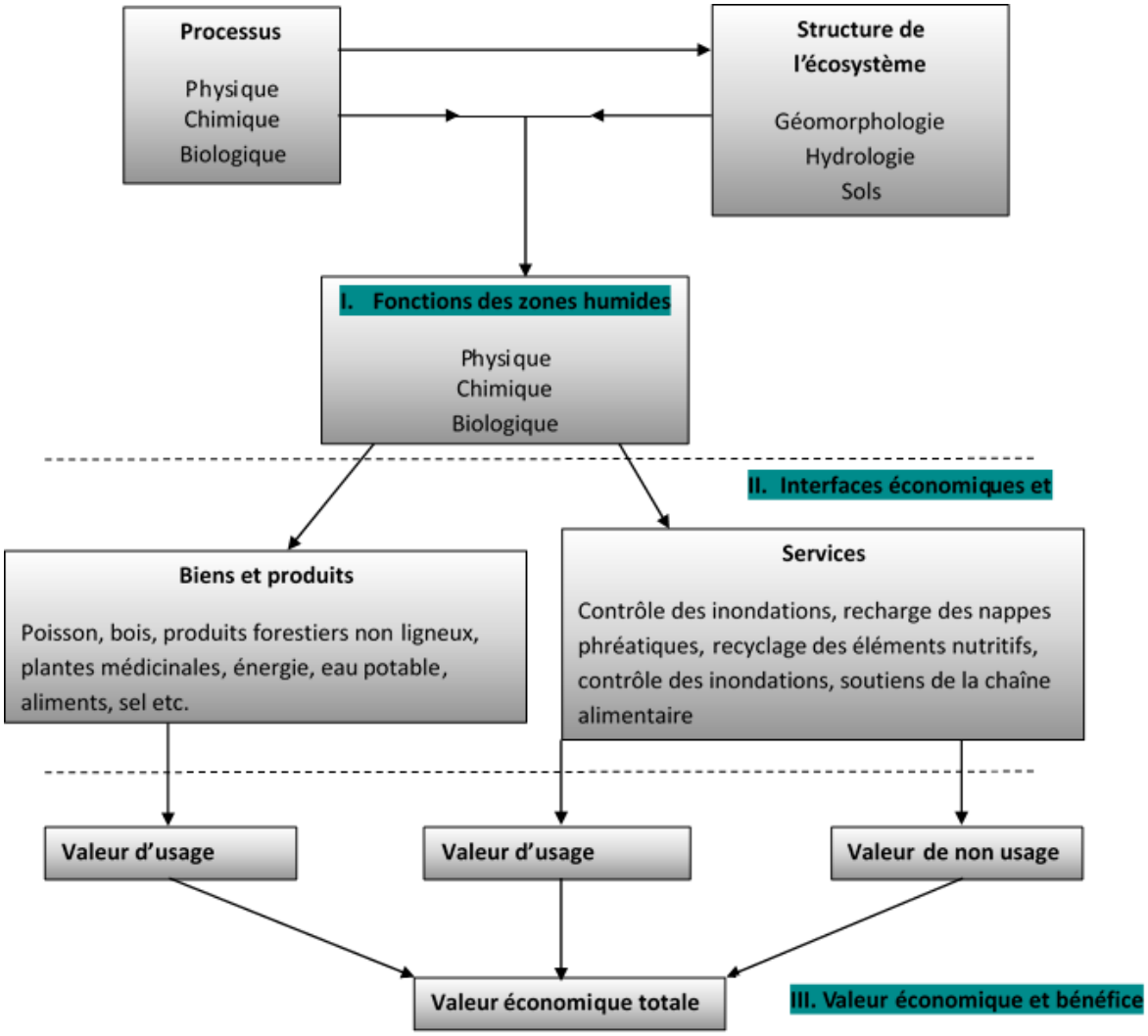



**Figure 7: Cadre intégré de l'estimation de la valeur monétaire des écosystèmes naturels**
Source : Somda J. & Awaïs A., 2013 (modifié).

La démarche de l'évaluation économique d'un milieu humide doit permettre de prendre en compte tous les services écologiques, maîtriser son système de fonctionnement et ses interactions avec l'environnement extérieur. À cet effet, l'approche

de la valeur économique totale permet de considérer les différentes valeurs économiques des services écologiques (figure 7, ci-avant), en offrant un cadre théorique opérationnel pour l'évaluation économique d'un écosystème naturel. Elle représente une mesure globale de la valeur économique de tous les biens et services écologiques d'un écosystème. Précisons que la valeur économique totale distingue les valeurs d'usage de celles de non-usage ou d'usage futur.

- **Les valeurs d'usage** : sont les valeurs des bénéfices concrets apportés par les milieux humides. On en distingue les **valeurs d'usage direct, d'une part, qui** correspondent à la valeur des biens prélevés dans les milieux humides (productions agricoles, bois, produits de la pêche et de la chasse, eau, produits miniers). Certains de ces produits sont renouvelables (pêche, chasse), grâce aux processus naturels, sauf si des prélèvements excessifs réduisent la capacité de reconstitution des espèces. D'autres sont non renouvelables (extraction des matériaux alluvionnaires ou de la tourbe) en tout cas à l'échelle des temps humains. **Les valeurs d'usage indirect, d'autre part,** correspondent aux différents services rendus par les milieux humides comme le contrôle des crues, l'épuration de l'eau, la recharge des nappes phréatiques, la stabilisation du littoral et la protection contre les tempêtes etc. Les zones humides jouent le rôle « d'infrastructures naturelles », qui procurent aux hommes de nombreux services environnementaux comparables aux structures artificielles qu'ils édifient, comme par exemple une station d'épuration ou un barrage écrêteur de crues pour protéger les populations locales contre les inondations…

- **Les valeurs de non-usage**

Ce sont les valeurs des bénéfices immatériels fournis par les milieux humides. Ces valeurs correspondent à des propriétés ou des qualités des milieux auxquelles des sociétés humaines peuvent être attachées sans pour autant en faire usage. Elles recouvrent habituellement trois catégories de valeurs (figure 8, ci-après). D'abord, **une valeur d'option**, attribuée au fait de pouvoir conserver des biens et des services actuels ou potentiels (usages médicaux de certaines plantes, par exemple) en gardant la possibilité de choisir l'usage que l'on fera de la ressource dans le futur. Ensuite, **une valeur d'existence** qui reconnaît de la valeur à l'existence même d'un milieu humide ou la préservation d'une ou de ses ressources ou services, sans envisager pour autant d'en

faire usage. Enfin, **une valeur de legs** qui correspond à celle que l'on attribue au fait de pouvoir laisser un environnement naturel en bon état aux générations futures.

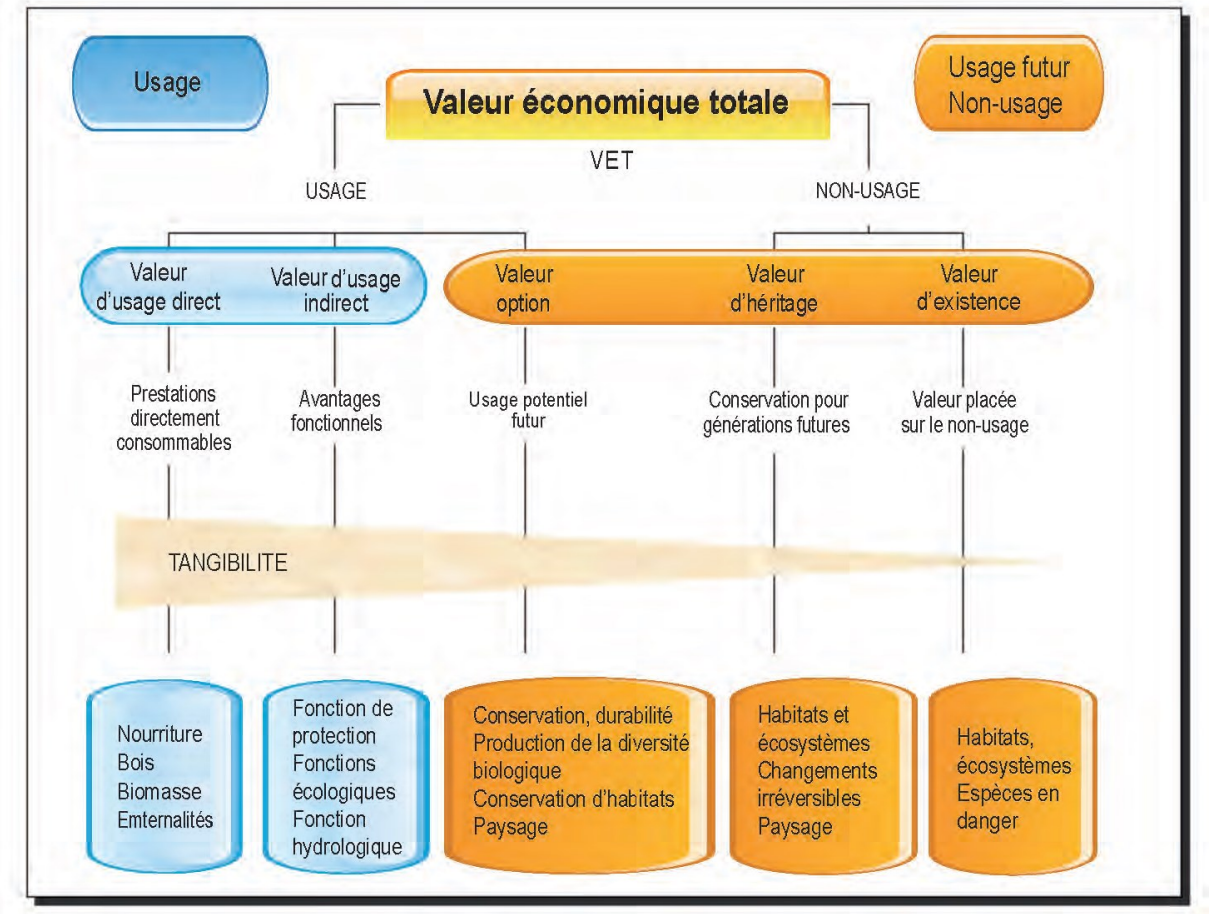



**Figure 8: Le cadre conceptuel de la valeur économique totale des écosystèmes naturels**

Source : Somda J. & Awaïs A., 2013.

L'estimation de la valeur économique totale nécessite que l'évaluateur adopte une démarche exhaustive en plusieurs étapes. À cet effet, De Groot R.S. et *al*. (2007) ont proposé quatre étapes pour l'évaluation économique des écosystèmes des zones humides. Cette approche a été adoptée et renforcée par Somda J. & Awaïs A. (2013) pour une évaluation économique en cinq étapes pour les écosystèmes naturels.

**Première étape : Analyse des processus politiques et des objectifs de gestion :**

Elle consiste à prendre connaissance du contexte dans lequel l'écosystème naturel est exploité. Il s'agit de maîtriser les processus politiques, les objectifs de gestion et les intérêts en jeu pour les pouvoirs publics et les communautés à la base.

**Deuxième étape : Analyse et participation des acteurs**

L'évaluation économique des écosystèmes naturels n'est possible que si les acteurs concernés sont bien connus et leur participation assurée. L'identification des principaux acteurs au début du processus permet de : (i) garantir leur participation à toutes les étapes de la procédure d'estimation, (ii) déterminer les principaux objectifs politiques et de gestion, (iii) définir les principaux services pertinents, (iv) estimer la valeur économique des services des écosystèmes et (v) faire des comparaisons entre les différentes utilisations des services des écosystèmes.

**Troisième étape : Analyse fonctionnelle**

L'analyse fonctionnelle de l'écosystème évalué consiste à l'identification et à la quantification autant que possible des services écosystémiques. Elle implique une revue critique de la littérature, mais également des enquêtes ou interviews complémentaires pour s'assurer que les services majeurs de l'écosystème sont répertoriés et quantifiés. Il importe enfin de s'assurer que tous les acteurs et décideurs politiques concernés par la zone évaluée sont d'accord avec les services majeurs identifiés et quantifiés dans des unités appropriées (indicateurs écologiques, socioculturels et économiques). Ce sont alors les quantités des services retenus qui seront multipliés par leurs prix pour obtenir la valeur économique de l'écosystème. La détermination de la valeur économique d'un écosystème n'est possible que si les fonctions sont clairement identifiées et les services suffisamment quantifiés.

**Quatrième étape : Estimation de la valeur monétaire des services**

La quatrième étape essaie d'évaluer en terme monétaire la valeur économique des services des écosystèmes naturels. L'estimation de la valeur monétaire des services de l'écosystème utilise un système de prix basé soit sur les préférences révélées, soit sur les préférences déclarées. Les prix basés sur les préférences révélées correspondent au prix du marché du produit final de l'écosystème, tandis que les prix basés sur les préférences déclarées sont construits sur un marché hypothétique. L'utilisation de l'un ou l'autre type de prix pour l'estimation de la valeur monétaire dépend de la méthode d'estimation utilisée.

**Cinquième étape** : Communication des valeurs de l'écosystème

L'estimation de la valeur monétaire des services des écosystèmes n'a un intérêt que si elle répond à une demande. Les potentiels demandeurs de ce type d'information ont été identifiés au cours des étapes 1 et 2. Il est donc important qu'à la fin du processus d'évaluation de l'écosystème, les résultats de l'estimation soient communiqués de façon adéquate aux décideurs politiques et aux acteurs ayant participé à l'étude. Le principal objectif de la communication des valeurs de l'écosystème est de susciter des discussions autour des options politiques de gestion déjà prises ou en cours de l'être.

Bien que les cinq étapes de l'analyse semblent être séquentielles, il peut être nécessaire de retourner à une étape précédente pour réviser le processus d'évaluation, améliorer l'analyse et affiner les besoins en informations. La mise en œuvre de la démarche de l'évaluation économique des services écologiques des écosystèmes naturels nécessite l'utilisation de méthodes d'évaluation monétaire appropriées.

## 1.3. Cartographie et zonage des zones humides

### 1.3.1. Inventorier les zones humides

La méconnaissance de l'étendue réelle et des types de milieux humides est au cœur des contraintes liées à leur conservation et à leur gestion durable. Au cours des dernières années, de plus en plus de gestionnaires du territoire ont exprimé le besoin de se doter d'un outil cartographique complet, à jour et le plus précis possible, afin d'améliorer leur processus de prise de décisions, en matière de protection des milieux humides.

Devant la régression inquiétante des superficies de zones humides sur l'ensemble du globe, des politiques volontaristes de préservation et de gestion de ces milieux a été mise en œuvre aussi bien dans les pays du nord, que ceux des pays en voie de développement. Ainsi, depuis 1987, le Gabon a inscrit ses premiers sites Ramsar, en initiant une première fois des recherches axées sur ces zones en tenant compte de leurs potentialités, ainsi que des tenants et des aboutissants liés à leur conservation. Cette politique s'est renforcée avec la création de l'ANPN en 2007, organisme gouvernemental en charge de la gestion de 11% du territoire, reconvertis en aires protégées. Bien que la Direction Générale de l'Environnement soit le garant de la convention Ramsar au Gabon,

l'ANPN gère directement la majorité des sites inscrits. Son expertise avérée dans la gestion des zones humides et sa capacité à capter des fonds font de cet organisme un acteur crédible ou légitime pour mener une étude d'inventaire des zones humides Gabonaises.

Rappelons qu'en France, leur préservation est un des enjeux des Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des eaux (SDAGE). Bien que plusieurs politiques aient été mises en place sur l'ensemble du territoire français pour la connaissance et la protection de ces milieux, les zones humides demeurent des territoires à enjeu et ne sont toujours pas tous connues.

L'approche utilisée par le SDAGE est celle par bassin versant, car elle est la meilleure échelle pour caractériser ces espaces, dans l'objectif d'une gestion équilibrée de l'eau à laquelle ils concourent. Mais la participation des acteurs locaux à cette entreprise est incontournable. L'inventaire est donc réalisé à l'échelle communale autour du Maire et des acteurs parties prenantes du territoire. À partir de l'identification des zones humides à l'échelle communale, la Commission locale de l'eau pourra identifier les zones humides « stratégiques pour la gestion de l'eau ». Ces zones dont le fonctionnement contribue de façon avérée à l'atteinte du bon objectif écologique, pourront se voir imposer des prescriptions ou mesures particulières afin d'éviter toute nuisance ou dégradation.

L'état de connaissance des zones humides tend à s'améliorer. Mais l'inventaire exhaustif de ces espaces est néanmoins une étape importante pour en connaitre les superficies, mais aussi les fonctionnalités. L'inventaire s'avère aussi une étape indispensable pour envisager les modalités de gestion adaptées. Les gestionnaires de ces milieux, ainsi que les conseils municipaux et départementaux auront ensuite les éléments clef de caractérisations des zones humides pour définir les préconisations, priorités et orientations d'actions adaptées à appliquer sur ces territoires.

L'objectif de l'inventaire de ces milieux est de fournir des éléments d'un porter à connaissance permettant aux services de l'État d'attirer la vigilance des promoteurs responsables de projets d'aménagements en zones humides, mais également d'éduquer les populations riveraines sur l'impérieuse nécessité de l'utilisation rationnelle de ces milieux. Le statut des "limites" ainsi définies est donc informatif. Il s'agit d'enveloppes de

référence, englobant des habitats naturels de zones humides, mais pas nécessairement que des zones humides ni toutes les zones humides. De ce fait, elles n'ont pas vocation à avoir une valeur juridique directe. En revanche, les informations qu'elles apportent seront d'une grande utilité pour les discussions préalables aux projets, plans et programmes divers touchant le territoire.

Au Gabon, des travaux épars ont été menés sur certains écosystèmes humides, sans pour autant se focaliser sur l'ensemble. À titre d'exemple, l'Herbier national, en partenariat avec l'IRD et le WWF ont produit en 2015 une première carte des écosystèmes présents dans le site Ramsar. Nous nous proposons dans cette étude de mettre à jour cette carte et de combler les limites qu'elle présente.

### 1.3.2. Évaluation fonctionnelle des zones humides

Au-delà de l'inventaire et la caractérisation des zones humides, il important aujourd'hui de pouvoir mener une évaluation de leurs fonctions écologiques. Cette évaluation a pour but de mener des actions de protection, d'entretien ou de réhabilitation efficaces basé sur un système de notation concret, représentatif des services et valeurs écosystémiques rendues par les zones humides concernées. De manière concrète, elle vise donc à prévenir toute perte nette de fonctions des terres humides et se fonde sur la séquence de solutions d'atténuation consistant à éviter au mieux, à réduire au minimum et/ou à compenser les répercussions sur les fonctions des zones humides (Lync-Stewart et *al*., 1996).

Il existe une abondance de techniques d''évaluation de fonctions écologiques des écosystèmes (Adamus et al, 1987 ; Sutula et al, 2006 ; Rapinel, 2012). Cependant, après examen des différentes méthodes, il en ressort qu'aucune méthode ne convient parfaitement à toutes les régions géographiques (Fénessy et *al.*, 2007).

L'évaluation fonctionnelle des zones humides peut se dérouler suivant une démarche progressive. Dans un premier temps, les zones humides sont inventoriées puis classées selon une typologie adaptée aux objectifs et aux échelles de travail. Puis, des sites de référence sont sélectionnés parmi les zones humides représentatives (Brinson, 1993). En effet, les démarches d'évaluation fonctionnelle ne permettent pas d'évaluer l'ensemble des zones humides d'un bassin versant. Ensuite, la structure et les caractéristiques des

zones humides de référence sont identifiées à partir de mesures terrains approfondies effectuées dans des domaines disciplinaires variés. Les critères déterminés par cette approche sont liés par des relations qui permettent de caractériser une ou plusieurs fonctions des zones humides. Enfin, l'évaluation est réalisée à partir de l'acquisition des données relatives aux critères d'état. Une fois cette étape effectuée, les résultats peuvent permettre une comparaison entre les différentes zones humides et une évaluation des valeurs apportées pour la société. Cette démarche, complète mais complexe, n'est appliquée que depuis les années 90.

On peut citer, entre autres, les méthodes suivantes :

- ***L'approche WET (Wetland Evaluation Technique)*** qui a été développée en 1983 par Adamus et Stockwell (1983) est une approche multi scalaire dont les fonctions sont évaluées au niveau global à partir des données disponibles alors qu'au niveau le plus fin, l'évaluation nécessite de nombreuses mesures terrain. L'approche WET permet de mettre en évidence les relations entre une fonction donnée et la typologie ainsi que l'incompatibilité de certaines fonctions entre elles. Mais elle est critiquée pour son manque de validation scientifique et son évaluation qualitative (élevée, moyenne, faible) trop générale. Dans cette approche, les fonctions sont supposées être les mêmes dans toute la zone humide.

- ***L'approche hydrologique*** *menée* sur les zones humides situées en tête de bassin versant a permis d'évaluer leurs fonctions hydrologiques et biogéochimiques (Durand *et al.*, 2000). Celles-ci ont été déterminées à partir d'indicateurs dérivés des interactions entre le cours d'eau, le versant et la zone humide. Cette approche présente l'originalité de prendre en compte l'hydrodynamique à travers des descripteurs directs ou indirects. Toutefois, elle nécessite un suivi de mesures terrain régulier et fréquent, ce qui limite son application sur l'ensemble des zones humides d'un bassin versant.

- ***L'approche hydro-géomorphologique (HGM)*** développée en 1993 par Brinson prend en compte des critères basés sur la géomorphologie, l'origine de l'eau présente dans les zones humides et l'hydrodynamique. Les fonctions des zones humides sont évaluées sur des sites de référence à partir de mesures terrain approfondies. Ces évaluations permettent d'extrapoler les résultats des zones

humides présentant les mêmes caractéristiques hydrogéomorphologiques (Brinson *in* Maltby E., 2009). Tout comme dans l'approche WET, l'intensité des fonctions est supposée être la même sur la zone humide entière. L'hétérogénéité spatiale de la zone humide n'est pas prise en compte au sein d'un site. Cette approche est actuellement utilisée aux États-Unis par les organismes fédéraux pour l'inventaire et la caractérisation des zones humides. Les fonctions sont évaluées de façon qualitative en sept classes d'efficacité mettant en évidence les actions de gestion les plus pertinentes à effectuer. Pour cela, les zones humides sont classées sur la base de critères hydrogéomorphologiques (évolution du profil en long des cours d'eau, dépôts sédimentaires holocènes, mosaïques hydrogéomorphologiques) puis les fonctions sont évaluées par croisement d'indicateurs sous SIG. Par exemple, la fonction « régulation de crue » est évaluée à partir de dix indicateurs (largeur de la plaine d'inondation, pente de la plaine d'inondation, densité des chenaux et des annexes hydrauliques, macrotopographie de la plaine d'inondation, connexions entre le lit mineur et la plaine d'inondation, rugosité de la végétation…). Cette méthode a l'intérêt de présenter des résultats standardisés à l'échelle d'un grand bassin versant.

- ***L'approche FAP* (*Functional Assessment Procedure)*** a été développée en 2009 par Maltby, dans le cadre de différents projets européens (FAEWE, PROTOWET, EVALUWET). Selon Maltby E. (2009 b), la complexité des zones humides est appréhendée par l'identification de fonctions distinctes pour chaque unité hydrogéomorphologique ou HGMU.

- **L'approche multi scalaire** a été développée par Rapinel (2012). Cette méthode est une adaptation de l'approche (FAP), initialement développée pour des sites de quelques hectares, afin de l'appliquer sur des sites de plus d'une centaine de $Km^2$. Elle se base sur des couches d'informations dérivées de données de télédétection.

L'évaluation des fonctions des zones humides s'effectue à l'échelle des HGMU, délimitées à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT) sur lequel est appliquée une segmentation regroupant les zones de valeurs altimétriques similaires. La détermination de la performance d'une fonction est basée sur la performance d'un ou plusieurs processus naturels interne, matérialisé par des

indicateurs fonctionnels, eux-mêmes basés sur le degré de fonctionnement des descripteurs décrits par des variables de contrôle (Maltby E., 2009b).

Chaque descripteur ou groupe de descripteurs est utilisé comme élément de calibration d'un processus relevant d'une fonction donnée. Dans un premier temps, un lot de 19 descripteurs est produit à partir des 4 couches thématiques dérivées des données de télédétection. Dans un second temps, une analyse multicritère est appliquée : 14 indicateurs fonctionnels sont produits à partir de la combinaison des descripteurs ; et 4 fonctions (écrêtage de crue, soutien à l'étiage, dénitrification et habitat) sont évaluées à travers la combinaison des indicateurs fonctionnels. Les scores des processus fonctionnels sont classés par intervalles égaux en 5 classes d'intérêts fonctionnels : très faible, faible, moyenne, forte et très forte.

Dans le présent travail de recherche, nous adaptons cette méthodologie au contexte local gabonais, avec les données et les outils accessibles, afin de faire l'évaluation des zones humides du site Ramsar Bas Ogooué. Sa méthodologie hybride permet de prendre les dimensions typologiques et spatio-temporelles des zones humides dans leur globalité.

### 1.3.3. Apports des outils SIG dans la délimitation et l'évaluation des zones humides

« *Dans sa ferveur technocratique toujours renouvelée, notre société a besoin de délimiter les objets de façon certaine pour pouvoir y porter son action. Les zones humides ne font pas exception à cette règle*. » (Barnaud G., et Mernet L., 1997, p.3). En effet, la connaissance des zones humides est un préalable nécessaire à la préservation, à la gestion et à la restauration de ces espaces. Il importe donc d'avoir des statistiques les plus précises possibles, tant en ce qui concerne leur superficie, leur composition, ainsi que les évolutions qualitatives et quantitatives auxquelles elles sont soumises. Qu'elle soit entreprise à l'échelle nationale, régionale ou communale, l'étude des zones humides nécessite d'identifier spatialement les enjeux pour se donner les moyens de proposer des plans d'action de valorisation ou de conservation durable de ces espaces (Marzouk S., Amsallem J., 2018).

Différentes méthodes de cartographie existent ainsi pour caractériser au mieux les éléments constitutifs de ces milieux. Aujourd'hui la cartographie numérique est le principal outil de modélisation de ces milieux et l'ensemble de ces méthodes se regroupent au sein de la science large que l'on désigne sous le substantif « géomatique ». Selon Lhomme S. (2013), la géomatique est une science qui permet d'appréhender des phénomènes naturels ou anthropiques en manipulant des informations numériques dans des Systèmes d'Information Géographique. Les SIG servent donc de cadre pour acquérir, stocker, traiter, analyser, modéliser, visualiser, gérer la donnée géographique. La photo interprétation, quant à elle, utilise les imageries aériennes ou satellitaires pour identifier par interprétation visuelle les milieux et les phénomènes à mettre en valeur. Ces méthodes variées se basent sur différents types de données qui peuvent aussi bien représenter l'occupation ou l'usage du sol

Si pendant longtemps, la plupart de ces méthodes n'ont pas intégré la variabilité temporelle interannuelle ou pluriannuelle, les données de télédétection peuvent se poser comme une solution à cette limite. En effet les espaces humides sont des espaces dynamiques, vu que le gradient d'humidité varie selon les saisons et les actions anthropiques. Les systèmes de télédétection sont dotés d'une résolution temporelle dépendante du temps que prend le satellite pour observer de nouveau la même scène. Cette capacité à recueillir périodiquement de l'information d'une même région de la terre est un des grands avantages de la télédétection satellitaire, et peut servir dans diverses situations. Certains satellites sont programmables, ce qui permet d'accroître leur capacité nominale de revisite d'un même point.

Outre la résolution temporelle, pour toutes les études cartographiques utilisant la télédétection, il est nécessaire d'adapter le choix de données en fonction de différents autres critères comme la résolution spatiale, la résolution spectrale et les types d'éléments recherchés, etc. Car chaque donnée à ses caractéristiques propres et la prise en compte de tous ces paramètres permettrait d'effectuer une étude cartographique complète pour identifier les milieux à enjeux sur le territoire.

Au-delà de leur complexité paysagères (géomorphologie, géologie, végétation hygrophile etc.), les zones humides sont des milieux riches en eau, qu'elle soit stockée ou libre. De ce fait, la présence d'une zone humide est caractérisée par plusieurs paramètres

et se dessinent généralement en fonction des cours et plans d'eau. Pour les images aériennes comme pour les images satellites optiques on peut les reconnaître par :
- La couleur : L'eau de surface sur les ZH est, sur des images aériennes ou satellites, plus ou moins vert sombre et sont assez noire sur une image IRC avec des nuances en fonction de la turbidité ou de la profondeur. La végétation qui peut recouvrir la surface en eau est quant à elle verte sur les images du visible et rouge/rosé sur une composition en fausse couleur avec la bande du proche infrarouge.

- La texture : Ces milieux en eau peuvent avoir une texture assez complexe puisqu'elle varie avec l'étendue de la surface en eau et le taux de recouvrement par la végétation. Ces espaces peuvent être lisses, sur une image de télédétection, bordés par des arbres ou parfois cachés par la ripisylve, mais ils peuvent également avoir une texture granuleuse à cause de la végétation.

- La forme : La ZH peut être de forme arrondie, linéaire, irrégulière ou régulière. Généralement dans la continuité des cours d'eau si la ZH est naturelle, les ZH peuvent également se trouver au niveau de prairies libres.

- La surface : même si la surface varie selon la ZH étudiée, elle est le plus souvent assez grande (de l'ordre de quelques hectares) (Gramond et *al*., 2005).

L'intérêt des images satellites pour l'identification des zones humides repose sur la possibilité d'avoir plusieurs dates pendant l'année et de pouvoir étudier l'évolution du milieu, comme avec les images Sentinel 2 qui sont produites régulièrement. L'étude de ces zones humides peut aussi être envisagée avec les images Worldview 2 ou 3 par exemple, qui possèdent des capteurs à large bande spectrale et qui sont propices pour identifier les types de végétations présentes dans ces milieux.

Rapinel S. (2012) a montré que l'on pouvait délimiter les ZH par le biais de trois approches : Une première approche descriptive permet d'identifier et de caractériser grossièrement au 1/50 000e ces milieux. Le deuxième niveau propose une approche fonctionnelle pour les caractériser plus finement au 1/10 000e. Cette approche permet de caractériser et d'évaluer les fonctions des ZH dans des démarches de planification et d'aménagement du territoire (SCOT, SAGE, PLU …). La dernière approche terrain pour la gestion opérationnelle vise à expertiser à l'échelle cadastrale ces espaces à enjeux pour

mener des actions de réhabilitation, conservation ou restauration. Pour ces trois approches, différentes sources de données peuvent être exploitées comme Sentinel 2, SPOT 6/7 ou le lidar.

Le Lidar offre des perspectives intéressantes grâce à ses applications altimétriques dérivées. Le MNT qui peut être extrait des données Lidar peut rendre possible l'identification des ZH en identifiant la présence de zones de dépression. Ainsi, la topographie a été utilisée dans de nombreuses études pour identifier les zones humides potentielles tels que Frappart F.,2005, Rapinel S. et *al*, 2009 et VARIN M., 2021.

Il convient de rappeler que les technologies d'observation de la terre jouent un rôle majeur dans l'étude, la modélisation et le suivi des phénomènes environnementaux. Elles offrent à la fois une échelle spatiale et temporelle suffisante pour réduire les efforts colossaux que requièrent les méthodes de collecte conventionnelles, notamment en termes d'efforts sur le terrain et de coûts financiers. Elles facilitent l'aide à la décision et permet aux décideurs de définir des stratégies adéquate dans le contexte du développement durable. (Begni G. et *al*, 2005).

C'est en ce sens que les outils des SIG et de télédétection, qui favorisent une prise de prendre en compte des différents processus dans leur spatialité, occupent une place centrale dans ce travail de recherche. Ils permettent, entre autres aspects, de produire de façon efficiente des plans de zonage beaucoup moins onéreux dans des délais raisonnables.

En somme les zones humides sont des portions de terrains où l'eau est le principal facteur de contrôle de l'environnement et de la biocénose associée. Ces zones, autrefois considérées comme insalubres, voir inutiles ont fait les frais de la méconnaissance de leur importance. En effet, la tendance à l'époque était l'éradication de ces milieux au bénéfice des besoins agricoles et urbanistique.

De nos jours, les zones humides sont les premiers milieux naturels à faire l'objet d'une convention pour leur protection : la convention Ramsar. Elle vise à enrayer la disparition de ces écosystèmes. En effet, les zones humides sont capitales pour toutes formes de vie sur la planète, elles sont une source de valeurs et de services importants pour l'humanité.

Par ailleurs des études montrent que la valeur économique des services, fournis par les zones humides, dépassent largement celle des écosystèmes terrestres.

Et pourtant, les zones humides restent relativement sous-évaluées dans les plans nationaux des décideurs et législateurs. Or de pas leur rôle pivot la localisation, l'inventaire des zones humides, l'analyse des services et des valeurs qu'elles offrent permettraient de mettre en exergue leur efficacité ou l'intensité de leurs fonctions respectives.

Il ne faut pas omettre non plus que ces écosystèmes sont à la fois sources de nombreux bienfaits pour les populations et leur surexploitation. Le deuxième cas justifie la raison de leur dégradation, avec pour conséquences la perte de la diversité biologique et la menace de disparition de certaines espèces d'origine végétale et/ou animale. Dans une région complexe comme le Bas Ogooué la contribution des outils de Géomatique sont adaptés pour une aide à la décision rapide.

# CHAPITRE 2 : CARACTÉRISTIQUES BIOPHYSIQUES DE LA ZONE D'ÉTUDE

La connaissance du milieu physique et des caractéristiques de la zone d'étude est un préalable à toutes les études d'aménagement. Il s'agit, également, d'un postulat qui permet de mieux appréhender le contexte théorique vis-à-vis des réalités de la zone d'étude.

La présence de zones humides est conditionnée par les caractéristiques géomorphologiques et géologiques d'une région. Ces milieux sont structurés par l'hydrodynamique, qui contrôle leur fonctionnement et leur dynamique. Les flux et les niveaux d'eau et leurs périodicités révèlent les conditions d'hydromorphie du sol et les réponses des organismes vivants, en particulier de la végétation. Ces conditions font des zones humides des milieux très diversifiés, singuliers et variables dans le temps et l'espace. (Barnaud G. et Fustec E., 2007).

Le présent chapitre traite de ces différents compartiments naturels dans lequel naissent, s'étendent et se développent les zones humides du Site Ramsar. Il traite tour à tour de la géologie-pédologie affectant la région, puis la topographie-hydrographie, la biodiversité présente et le climat qui interagit avec l'ensemble.

## 2.1. Caractéristiques géologiques et pédologique du Site Ramsar

### 2.1.1. Structure géologique du complexe

D'après Magaya-Mikolo F. et Ekogha H. (2016), la structure du bassin inférieur de l'Ogooué (Figure 9, ci-après) est située dans la série dite du "bassin sédimentaire côtier". Elle est divisée en deux par le horst du socle Lambaréné-Chinchoua, mis en place au Crétacé inférieur, et se compose :

- d'un bassin intérieur, correspondant à un synclinal faillé avec des dépôts épais ; les faciès sont continentaux de types fluviatiles, lacustres ou lagunaires ;
- d'un bassin atlantique, avec des dépôts à dominante marine, et d'âge Crétacé moyen à Quaternaire.

La structure géologique dominante, dans le Site Ramsar du Bas Ogooué (Figure 6, ci-après), est constituée par l'ensemble du Phanérozoïque, correspondant à la ceinture orogénique de l'ouest Congo, à laquelle appartient également le complexe carbonatitique

de Mabounié (660 Ma[3]). L'histoire de cet ensemble commence au Permien (1 Ga[4]) et se termine au Pléistocène (vers 540 Ma). Les autres ensembles structuraux appartiennent tous à la ceinture orogénique de l'Afrique du Centre-Ouest datée du Paléoprotérozoïque (-2500 à -1600 Ma) et montrent une grande hétérogénéité et complexité structurale. Il s'agit des structures appartenant au :

- bloc de Lambaréné, caractérisé par un manque de données géochronologiques et d'études géologiques réactualisées faisant de lui un ensemble de terrain difficile à retracer de façon compréhensive ;
- bloc de Ndjolé-Kolissen, principalement formé de roches sédimentaires ;
- bloc de l'Ogooué et au complexe de l'Abamié, principalement formés de roches sédimentaires datées de 2120 à 2518 Ma.

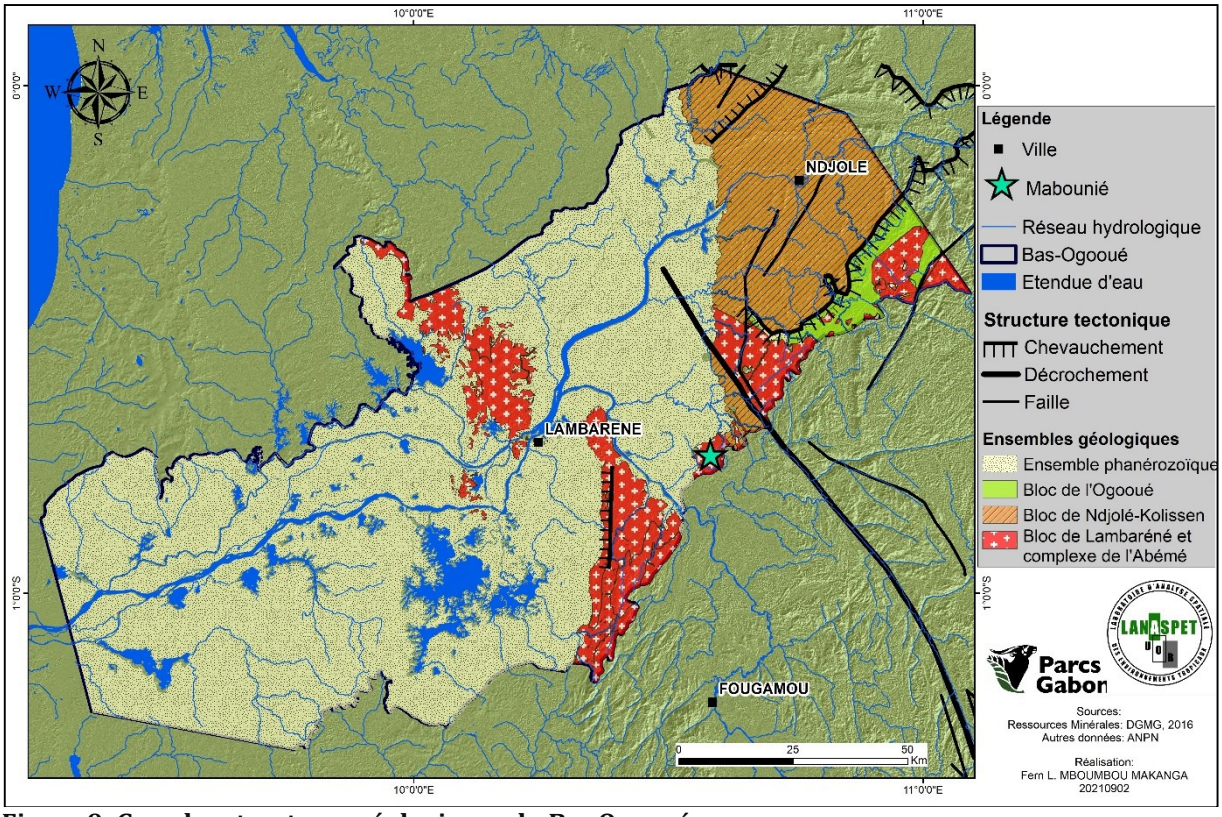



**Figure 9: Grandes structures géologiques du Bas Ogooué**

L'histoire du complexe deltaïque du bas Ogooué repose donc sur deux phases essentielles. La première correspond à la mise en place du "plancher" du bassin côtier sur lequel fut édifié l'actuel complexe deltaïque. Elle débute il y a 250 Ma et se termine vers la

[3] Millions d'années
[4] Milliard d'année

fin du Tertiaire, il y a environ 2 Ma. La seconde explique la mise en place des alluvions récentes. Elle débute il y a tout au plus 6000 ans quand l'océan Atlantique est revenu à son niveau actuel après une longue période de niveaux bas dus à une période de climat frais et sec (figure 10, ci-après).

Il faut noter que l'Ogooué est un fleuve très ancien dont la naissance est liée à celle de l'Océan Atlantique. En effet, la recherche pétrolière au sud-ouest de Port-Gentil a mis en évidence des dépôts sableux, disposés en éventail qui datent de la fin du crétacé, indiquant ainsi la présence d'un ancien delta ou estuaire qui préfigurait la configuration actuelle (Chevallier L. et *al*, 2002). Par ailleurs, la formation du bassin sédimentaire a débuté il y a environ 160 Ma, avec l'apparition d'un rift qui a contribué à la fragmentation du Gondwana en séparant l'Amérique du Sud de l'Afrique (Mbina Mounguengui M., 2003, Lovecchio, 2020). Tout au début de ce rifting Atlantique, s'est formé le horst de Lambaréné.

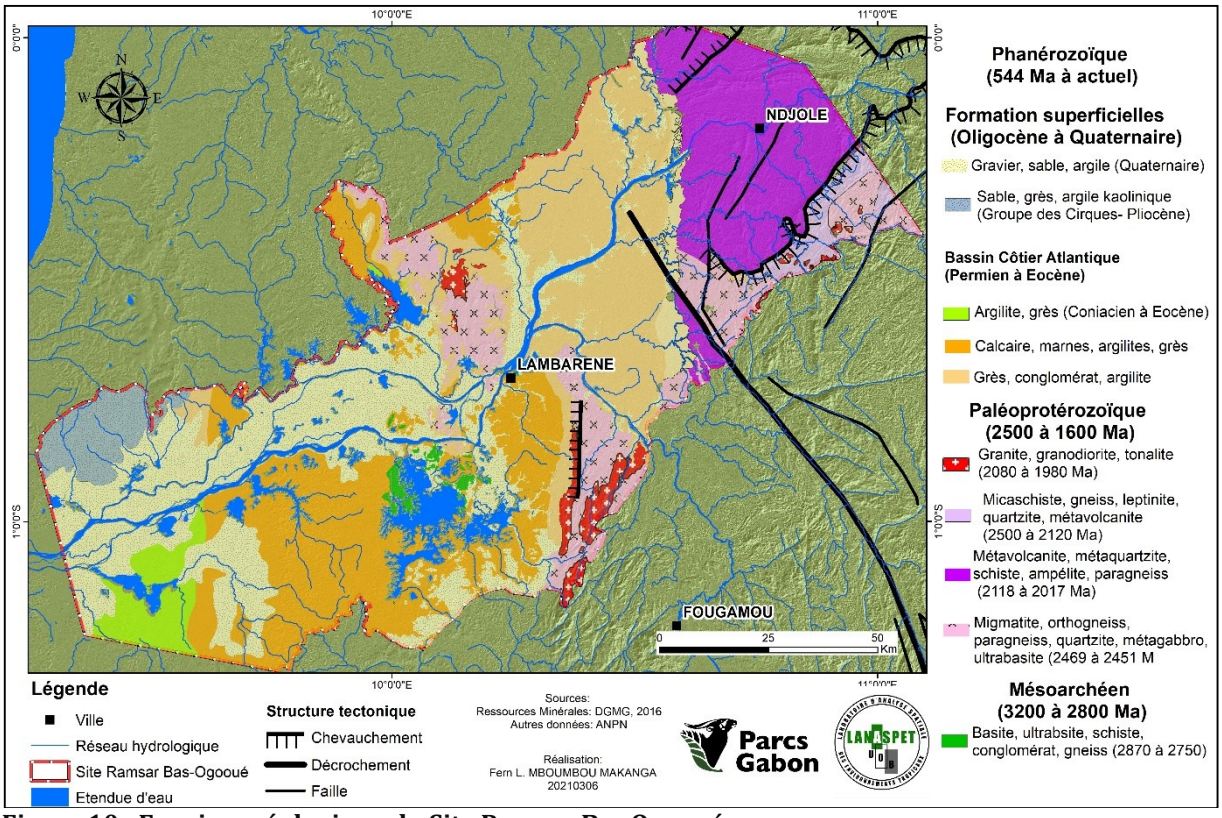



**Figure 10: Esquisse géologique du Site Ramsar Bas Ogooué**

Ce fragment de roches archéennes métamorphisées (migmatite et granite) appartenant au bloc de Lambaréné, a été détaché, soulevé et, par la suite, aplani par l'érosion. Il forme, aujourd'hui, une chaîne de basses collines qui s'étendent au nord

jusqu'aux abords de la Remboué, un affluent de l'estuaire du Komo. Vers le sud, cette chaîne se sépare en deux branches : la branche orientale comprend l'île autour de laquelle se concentre la ville de Lambaréné ; la branche occidentale, plus aplanie, atteint la région du lac Evaro.

### 2.1.2. Une histoire géologique liée à la formation de l'Océan Atlantique

La région de Lambaréné fait partie de la partie orientale du bassin côtier gabonais, c'est-à-dire la frange sédimentaire comprise entre le horst et les monts de Cristal. Elle est composée de sédiments continentaux datant du Permien, du Jurassique et surtout de la première moitié du Crétacé. Ces sédiments se sont donc déposés durant une période de 150 millions d'années qui s'est terminée il y a environ 100 millions d'années (Vande Weghe J. P. et Stevart T., 2017). Ceux du Permien et du Jurassique, situés tout à l'est du bassin, sont principalement des argiles et des grès déposés dans une dépression continentale. Ceux de la région de Lambaréné sont des grès, des marnes, des calcaires et des argilites, déposés à l'Albien (Crétacé inférieur).

Entre le horst et l'Atlantique, s'est formée la partie occidentale du bassin côtier. Elle couvre 40.000 $km^2$ et s'étend de la pointe Pongara (en face de Libreville) au nord et à Mayumba, au sud (Hudeley H. et Belmonte Y.,1970). Ses sédiments sont en majeure partie d'origine marine et ont été déposés du milieu du Crétacé à la fin du Néogène. Il y a 100 à 112 millions d'années, juste avant le milieu du Crétacé, le rift atlantique formait un énorme lac qui s'étendait de l'actuel Angola à l'ouest du Cameroun et accumulait les alluvions en provenance des reliefs avoisinants. Il y a environ 110 millions d'années, furent déposées d'épaisses couches de sel suite à l'évaporation des eaux du lac sous un climat devenu plus sec. Il y a 112 à 90 millions d'années, donc au début de la seconde moitié du Crétacé, ce lac fut lentement envahi par une mer progressant du sud vers le nord. Les couches de sel furent alors recouvertes de sédiments riches en carbonates, typiques pour leur origine marine.

L'envahissement du lac se fit, toutefois, en plusieurs phases. Ainsi, après une première période de transgression, les eaux marines se retirèrent à nouveau au Cénomanien, il y a environ 95 millions d'années. Du Sénonien (les derniers 24 millions d'années du Crétacé),

à l'Oligocène, il y a 33 millions d'années, la mer intérieure s'élargit et s'ouvrit vers le nord. L'axe du rift se déplaça à l'ouest du horst de Lambaréné.

Au cours du Paléogène, la première partie du Tertiaire, la sédimentation se poursuivit. Durant de longues périodes elle fut cependant interrompue par des régressions de l'océan, notamment vers le milieu de l'Éocène moyen, à la fin de l'Eocène et pendant la majeure partie de l'Oligocène. Dans le plateau continental alors à sec, l'érosion creusa de profondes vallées perpendiculaires au littoral. Durant les transgressions marines, le plateau continental fut à nouveau immergé et les vallées furent comblées par de nouveaux sédiments.

Au cours du Néogène, la seconde partie du Tertiaire, vint une nouvelle transgression marine qui s'est prolongée jusqu'à nos jours. Elle a déposé une énorme couche de sédiments qui atteint 3.000 m d'épaisseur par endroits et dont certains affleurent sur l'île Mandji, notamment à Tchengué, au sud de Port-Gentil, et probablement aussi en plein centre du delta où existe un petit affleurement de sable ocre, très argileux avec un horizon de latérite à un mètre de profondeur. Au cours du Tertiaire, tout le bord occidental du continent africain fut ainsi soulevé par des mouvements tectoniques. Ceux-ci furent à l'origine des reliefs que nous connaissons actuellement, notamment les monts de Cristal, et du rajeunissement des systèmes hydrographiques. Ces mouvements étaient, en partie, liés à l'élargissement et l'approfondissement de l'océan Atlantique. Mais, ils furent accentués, il y a environ 22 millions d'années, par la collision de l'Afrique avec l'Eurasie.

Depuis la seconde moitié du Crétacé, avec l'éclatement du Gondwana, l'Afrique avait en effet été complètement isolée des autres continents et transformée en une grande île comme l'est, aujourd'hui, l'Australie. Non seulement cette collision brisa l'isolement du continent, mais l'onde de choc qu'elle engendra se propagea sous l'écorce terrestre et contribua, dans une large mesure, au soulèvement de toute la marge atlantique de l'Afrique centrale. Ainsi, le fond de l'Atlantique fut soulevé et, en partie, exondé. Il forma le bas plateau qui constitue, aujourd'hui, le bassin côtier. Sa surface fut entaillée par l'érosion et un paysage de collines fut dégagé. De la surface initiale, ne restent que les

sommets des plus hautes collines qui émergent de la plaine deltaïque supérieure et des grands lacs.

### 2.1.3. Les sols du Bas Ogooué

Sur le plan pédologique, d'une part, les sols du site du bas Ogooué sont classés dans la catégorie dite imperméable. Ils sont généralement situés dans les milieux très mal drainés, parsemés de vastes marécages, de dépressions qui abritent des marais et des lacs.

D'autre part, l'omniprésence d'une couche humifère sous couvert forestier, constitue aussi un facteur important dans le degré de perméabilité des sols. Ainsi, tout en accroissant la porosité superficielle, l'humus favorise le ralentissement du ruissellement et facilite l'infiltration. Par voie de conséquence, la quasi-omniprésence de la forêt, qui s'accompagne d'une couche humifère plus ou moins importante, tend à s'opposer à une imperméabilisation totale des sols.

Sur l'ensemble du site Ramsar, les sols sont essentiellement ferralitiques, marque du climat tropical humide gabonais qui oriente l'altération vers une pédogénèse de type ferrallitique (D. Martin et *al.*, 1981). Les sols ferralitiques occupent près 8933 km$^2$ contre 4727 km$^2$ pour les sols hydromorphes variés. Ils sont majoritairement concentrés dans la région nord du site (basse vallée de l'Ogooué). Dans le détail, on retrouve :

- des sols ferralitiques typiques : sur des surfaces ondulées ou des collines à fortes pentes sur matériaux argilo-sableux. Les sols sont modaux, peu profonds et disposent d'un drainage normal ;
- des sols ferralitiques psammitiques : sur les crêtes et les plateaux étroits et ondulés. Ils ont une structure sableuse, avec un drainage excessif ;
- des sols ferrallitiques pénévolués : sur des collines à versants convexes. La texture du sol est argileuse avec un drainage normal. Cette formation englobe la commune de Ndjolé, au nord-est du site ;
- des sols ferralitiques rajeunis : sur quelques collines et crêtes montagneuses. Il s'agit des sols minéraux bruts très peu évolués, ou des sols ferralitiques rajeunis et pénévolués. Globalement, ils ont, une texture argilo-sableux, avec un drainage normal, sauf dans les petites unités autour de la région de Ndjolé, où il est excessif ;
- des sols ferralitiques hydromorphes : repartis en unités éparses, notamment dans les secteurs des lacs Onangué-, Avanga, Alombiè et Ayèm et la basse vallée de la Ngounié. Ils sont aussi bien sur des surfaces aplanies qu'ondulées, avec des

textures dominées par l'argile. Le drainage y est normal et moyen à quelques endroits.

Comme mentionné plus haut, en dehors des sols ferralitiques, les sols hydromorphes sont également représentés sur le site du Bas Ogooué (figure 11, ci-après). Occupant les bas-fonds plus ou moins étendus des zones aplanies et peu disséquées, ainsi que les bords des grandes rivières, ils prennent une grande extension dans la basse vallée, le delta de l'Ogooué et tout au long de la côte. En effet, ils bordent le fleuve Ogooué, les rivières Oango, Abanga, Ngounié, ainsi que les grands lacs. Ils sont présents, également, sur les collines à larges vallées marécageuses surplombant les lacs Ezanga, et Oguémoué. Généralement, ils disposent de structures variables, argileuses ou sableuses. Pour la plupart, ce sont des zones inondables où inondées en permanence, dans lesquelles existent des engorgements, comme pour l'Ogooué, au niveau de Lambaréné.

.

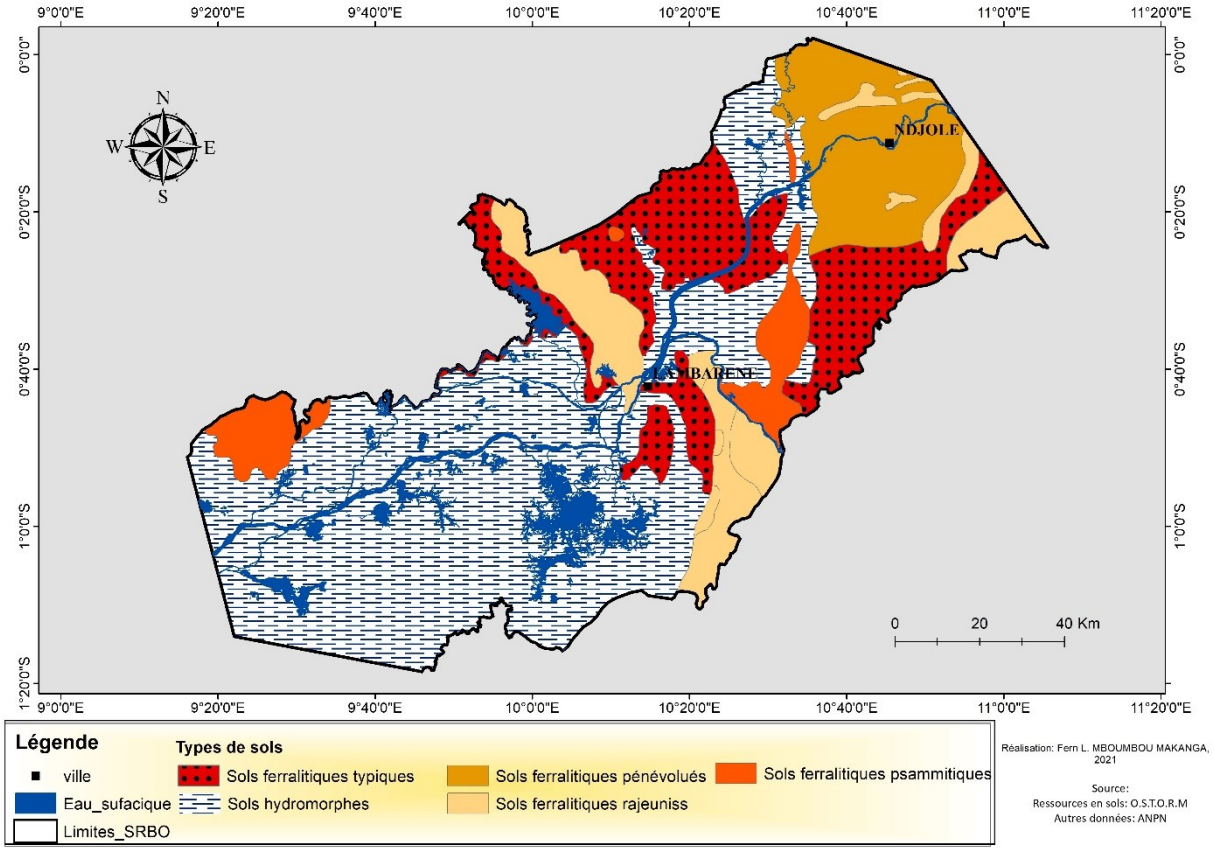



**Figure 11: Répartition des sols dans le Site Ramsar du Bas Ogooué**

## 2.2. Topographie et hydrographie

### 2.2.1. Le complexe deltaïque compartimenté du Bas Ogooué

Selon Vande Weghe J. P. et Stevart T. (2017), Le complexe deltaïque de l'Ogooué peut être appréhendé selon cinq compartiments qui ont, chacun, leur structure propre. Il s'agit de :

- la « basse vallée du fleuve » et ses milieux humides adjacents, en amont de Lambaréné ;
- la « plaine deltaïque supérieure », située en aval de Lambaréné, avec ses lacs annexes et le delta intérieur ;
- la « plaine deltaïque inférieure ou tidale » qui renferme les bras principaux du delta ;
- les « structures de sable littoral », à savoir principalement les îles Mandji et Ozouri avec leurs plaines attenantes, Animba, Ompingo et Inguéssi, ainsi que des structures plus anciennes telle que la plaine Koroso ;
- la « section inférieure » de la lagune Nkomi.

Sur ce grand ensemble qu'est le complexe deltaïque, le site Ramsar du Bas Ogooué n'est concerné que par deux sections d'entre elles, à savoir la basse vallée alluviale de l'Ogooué et la plaine deltaïque supérieure (figure 12, ci-après). Leurs structures différentes commandent de les aborder distinctivement.

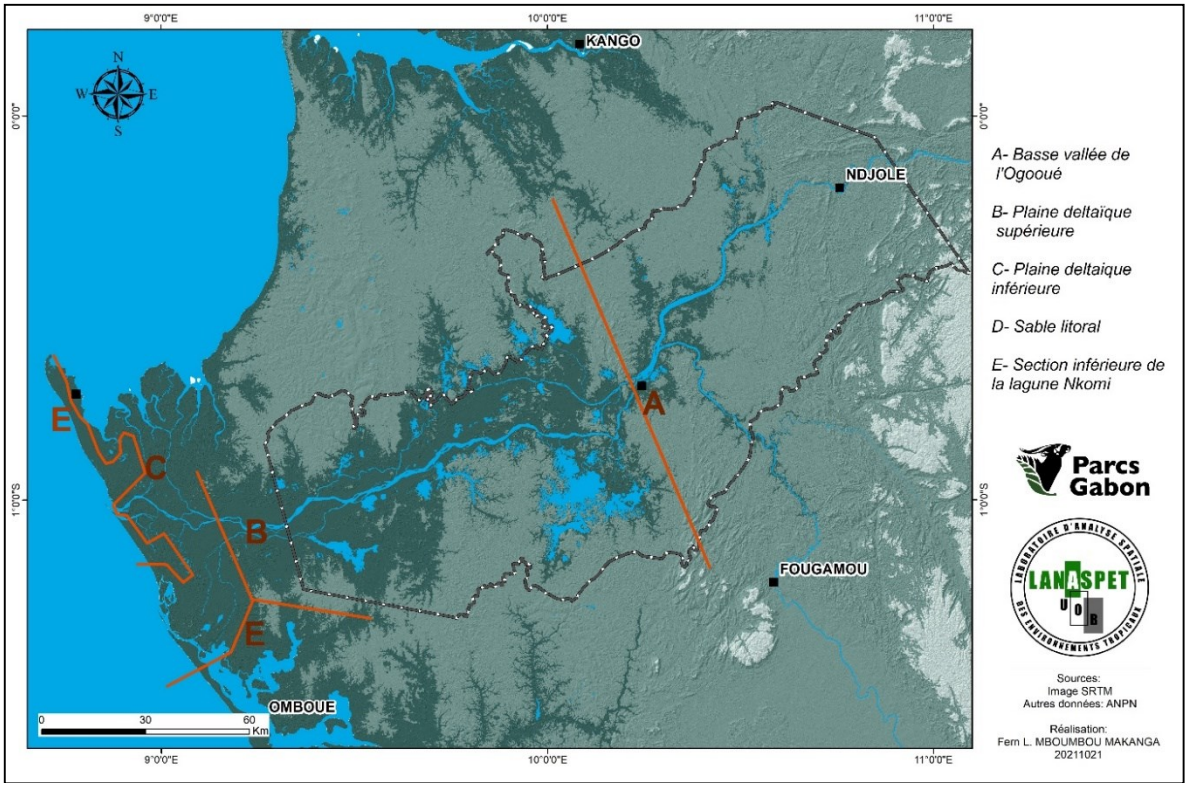



**Figure 12: Sections du complexe deltaïque de l'Ogooué**

À environ 70 km au nord-est de Lambaréné ou à 20 km en aval de Ndjolé, l'Ogooué entre dans le bassin sédimentaire côtier. Son cours unique s'étale alors progressivement

pour atteindre une largeur de 1,64 km près du confluent avec la Ngounié (son principal affluent de rive gauche) et 2,38 km juste en amont de Lambaréné. Dans cette section, l'Ogooué s'écoule dans un chenal unique, ayant de part et d'autre de zones inondées et inondables comprenant des forêts ripicoles inondables, des forêts marécageuses, des marais ouverts et des lacs. Sur la rive droite se joignent les rivières Abanga et Mbiné, dont les vallées sont, elles aussi, en grande partie inondées. Sur la rive gauche, se joint la Ngounié dont la basse vallée est similaire à celle de l'Ogooué dans toute la zone incluse dans le site Ramsar (figure 13, ci-après).

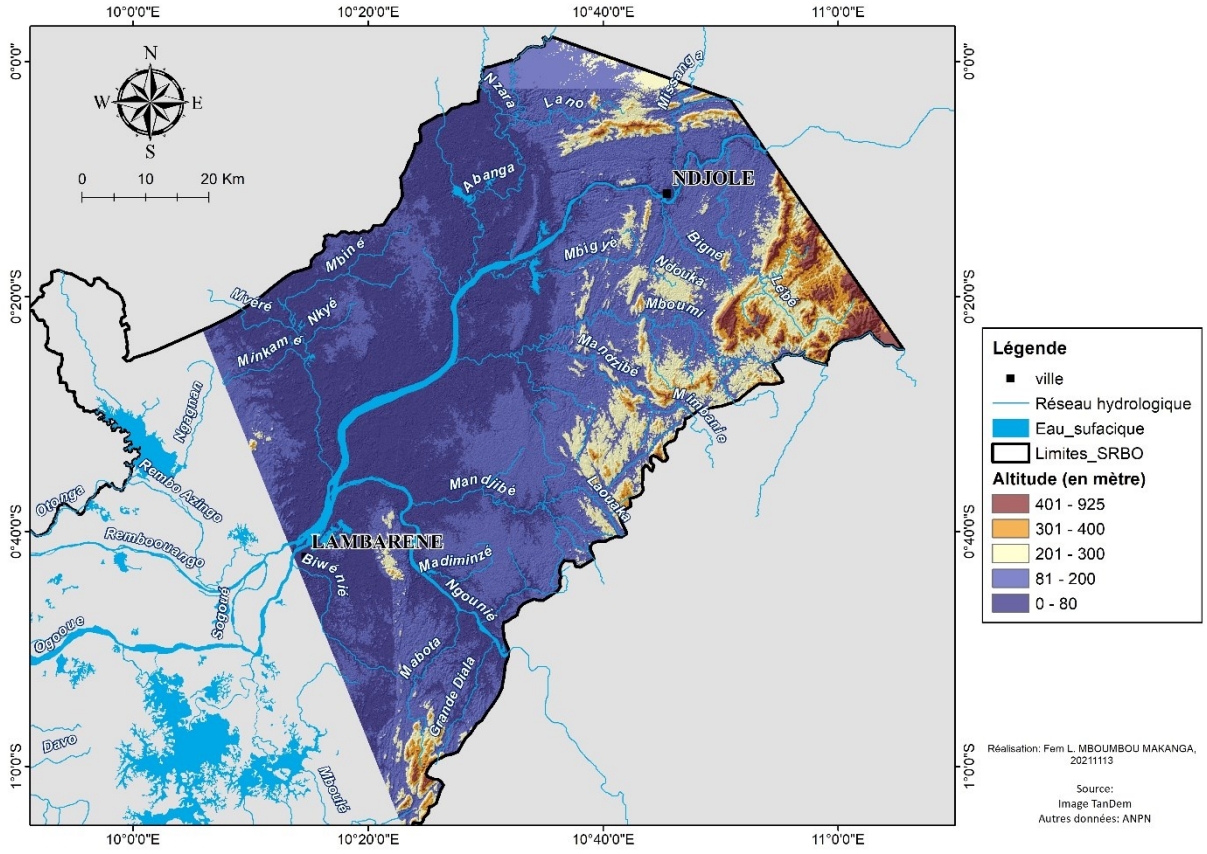



**Figure 13: Topographie de la basse vallée de l'Ogooué**

Le fleuve atteint une largeur de 100–200 m à 2,38 km et le niveau de l'eau est situé en moyenne vers 13 m d'altitude à Lambaréné, 18 m à hauteur du confluent avec l'Abanga et 22 m à Ndjolé. La pente du fleuve est de l'ordre de 10 cm/km. Son profil transversal comporte, le plus souvent, des hauts-fonds au centre, bordés de deux chenaux profonds qui longent les berges ou levées alluvionnaires. Par endroits, ces chenaux peuvent atteindre une profondeur de 10 à 12 m. Dans la partie centrale, les fonds ne dépassent cependant pas 0,50 à 2 m (Fermon Y., 2015). En saison sèche, de début juin à fin septembre ou même début octobre, la partie centrale du lit du fleuve s'assèche en de

nombreux endroits et laisse alors apparaître de vastes bancs de sable qui peuvent s'élever de 2 à 3 m au-dessus du niveau des eaux.

Le fleuve comprend aussi quelques petites îles, notamment au niveau du confluent avec la Ngounié et peu avant Lambaréné. Ces îles sont permanentes, et la plupart sont des structures sédimentaires récentes de hauts bancs de sable ayant acquis et conservé une végétation ligneuse permanente (figure 14, ci-après).

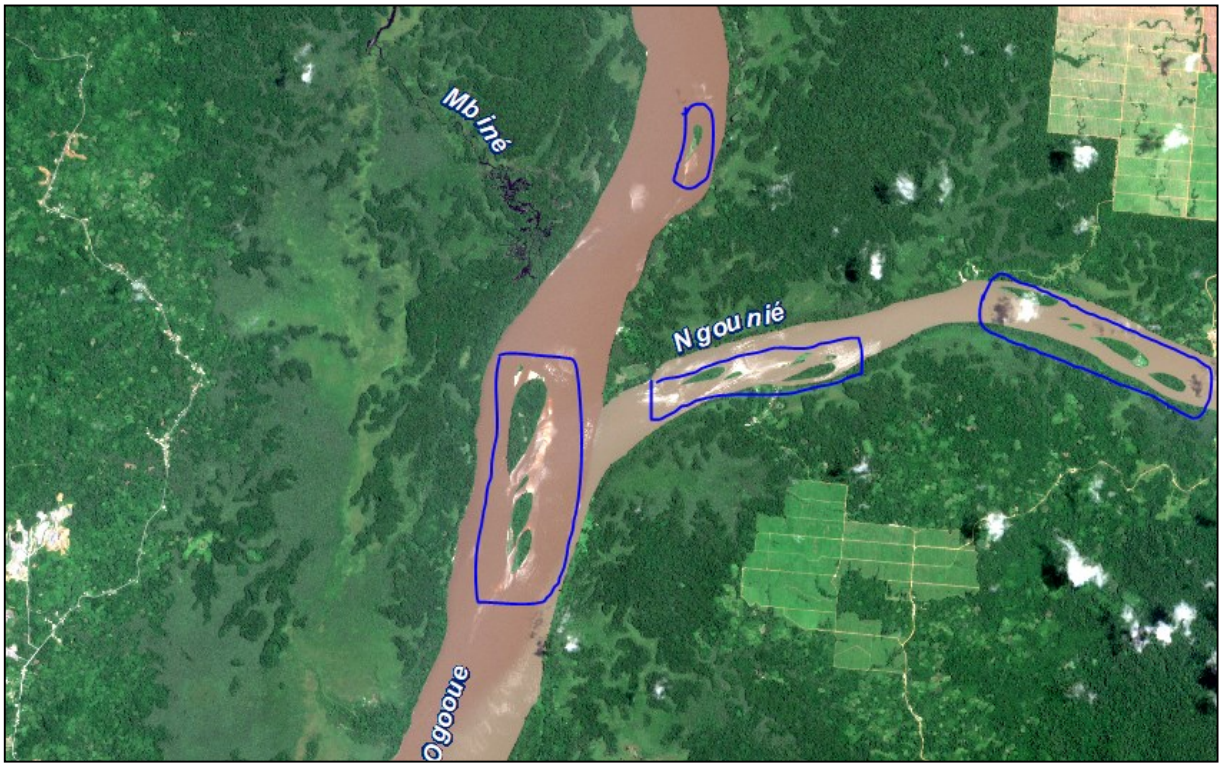



**Figure 14: Quelques îlots sur l'Ogooué et la Ngounié**

De part et d'autre, le fleuve est bordé de levées alluvionnaires larges de quelques dizaines de mètres, généralement, et couvertes de forêts inondables. Par endroits, ces levées sont interrompues par d'étroits chenaux qui drainent les eaux des zones inondables, situées en arrière des levées et les ramènent vers le fleuve. Dans la zone du confluent Ogooué-Abanga, ces chenaux sont très nombreux et forment un réseau complexe.

Au-delà des levées alluvionnaires, s'étendent des forêts marécageuses, des marais ouverts de hautes graminées, des papyraies et plusieurs lacs. Ces zones inondables sont variables : elles atteignent une largeur de 0,5 à 3 km. Mais, elles sont mal définies, et leur

superficie varie en fonction du niveau des crues. Dans ces zones, les eaux sont noires, totalement dépourvues de charge alluvionnaire et acides (Worbes M., 1997).

À hauteur de la ville de Lambaréné, construite sur les collines de la chaîne orientale du horst, le grand fleuve gabonais se scinde en deux bras, le bras sud étant le principal gardant le nom Ogooué et le bras nord Rembo Ouango. Ces bras se coupent au travers des collines de la bordure orientale du horst et s'étalent dans une petite plaine alluviale d'une superficie de 110 à 120 km$^2$ avant de traverser la partie occidentale du horst. Au-delà, ils s'étalent dans une énorme plaine alluviale.

Longue de 110 km et atteignant une largeur de 30 km, cette plaine aux contours très irréguliers est partagée en deux sections par un étranglement bien marqué à hauteur du village de Ngoumbi. En cet endroit, la plaine se réduit à deux passages, totalisant une largeur de 3 km. Entre de basses collines, ils laissent passer le bras principal du fleuve l'Ogooué et, un peu au nord, le bras secondaire Rembo Ouango se prolongeant en rivière Oréga. En amont de Ngoumbi, l'Ogooué proprement dit longe la bordure sud de la plaine. En aval de Ngoumbi, il la traverse vers sa bordure nord et revient ensuite vers le centre. Sa largeur atteint par endroits 1,75 km. Ce bras possède de petites îles couvertes de fourrés ou de forêts. De plus, en saison sèche, apparaissent de grands bancs de sable assez espacés et isolés des rives, donc propices à l'installation d'oiseaux nicheurs.

La plaine alluviale couvre une superficie de l'ordre de 500 km$^2$ y compris les îlots de terre ferme qui émergent de sa partie orientale. Son altitude est d'environ 15 m à la sortie du horst et s'abaisse à 3–6 m à l'ouest. Elle est découpée en plusieurs grandes îles par les bras du fleuve. Le centre de ces îles, plus bas que les levées alluvionnaires en bordure des chenaux, est occupé par des marais herbeux et quelques lacs résiduels. Dans le secteur oriental de la plaine, en amont de Ngoumbi, de nombreuses collines plates émergent des alluvions récentes. Elles représentent les sommets des collines qui ont échappé à l'ennoiement (Chevallier L. *et al.,* 2002). Elles culminent entre 35 et 50 m ; mais, quelques sommets atteignent 80 m (figure 15, ci-après).

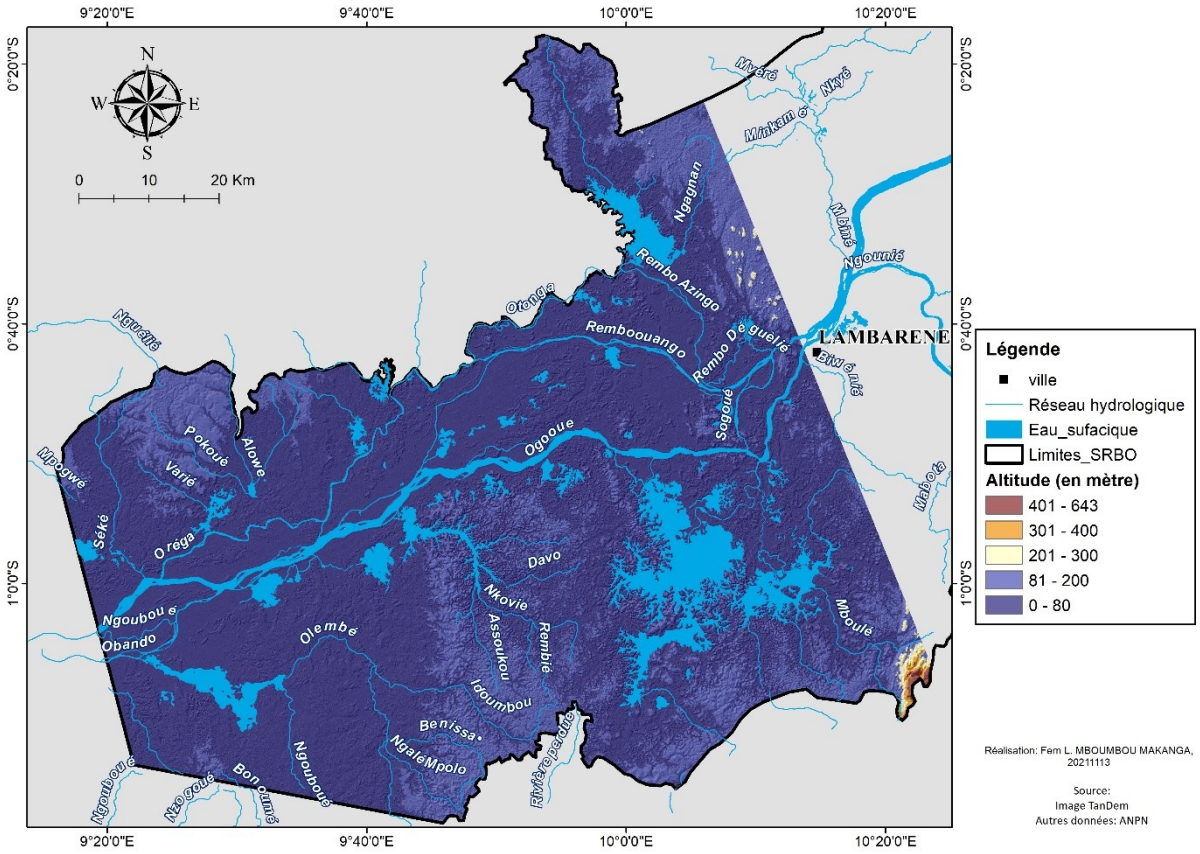



**Figure 15: Topographie de la plaine deltaïque supérieure à l'intérieur du Site Ramsar du Bas Ogooué**

Dans la partie orientale de la plaine alluviale, les cours d'eau sont entourés d'une mosaïque de formations végétales diverses, mais les forêts sont dominantes (J.P. Vande Weghe et T. Stevart, 2017) ; ainsi :

• en bordure immédiate des cours d'eau, se développe une frange de forêts ripicoles à *Uapaca heudelotii* ; celles-ci s'étendent à toute la zone où parviennent les eaux boueuses de l'Ogooué lors des crues ;

• à distance des eaux du fleuve, les zones peu drainées, mais hors d'atteinte des boues de l'Ogooué, sont couvertes de forêts marécageuses à *Anthostema aubryanum* ;

• hors d'atteinte des eaux, notamment sur les collines, se développent des forêts de terre ferme de type atlantique côtier. Vers le centre et l'ouest de la plaine, les marais herbeux ouverts sont également dominants.

Ces diverses formations végétales forment souvent une mosaïque complexe. En saison sèche, la majeure partie de la plaine est relativement à sec. Mais lors des fortes crues, elle peut être sous eau.

Dans les parties centrales de la plaine, là où moins d'alluvions sont parvenues, captées par les levées alluvionnaires, existent des lacs aux contours irréguliers relativement arrondis. À distance des principaux bras de l'Ogooué, dans les "baies" les plus profondes, existent de nombreux lacs qui ont tous à peu près la même configuration. Ils sont en bordure de la plaine, tant au nord qu'au sud du fleuve, et dans certaines baies adossées à des îlots de terre ferme qui émergent au centre de la plaine. Ce sont des vallées adjacentes de l'ancienne vallée de l'Ogooué qui ont été inondées lors de la montée des eaux suite au dépôt de la plaine alluviale formant en quelque sorte un barrage à l'écoulement des eaux du fleuve (Giresse P. et *al*, 1977).

Ces lacs constituent donc typiquement des paysages d'ennoiement. Leurs rives faisant face au fleuve sont très indentées et, généralement, nettement tranchées. Ils sont séparés de l'Ogooué par une bande de marais ouvert (papyraies ou herbiers à *Echinochloa*) traversée tout au plus par un étroit chenal, souvent bloqué en saison sèche.

### 2.2.2. Un territoire dominé par l'Ogooué

L'Ogooué, le plus grand fleuve du pays, donne de ce fait son nom à cinq régions administratives (Haut-Ogooué, Ogooué Lolo, Moyen Ogooué, Ogooué Maritime, Ogooué Ivindo), sur les neuf que comptent le Gabon. Il prend sa source en République du Congo, dans les Monts Ntalé à 840m (Mahé G. et *al.*, 1990) dans les Plateaux Batékés et parcourt environ 1100 km, dont 840 km en terre gabonaise. Son bassin versant s'étend sur environ 215 000 $km^2$, dont environ 27 000 $km^2$ hors du territoire national (Lérique J.,1983 ; Mahé G. et *al*, 1990). Il est limité à l'est, par le bassin du Congo, au sud par les bassins du Niari et de la Nyanga, à l'ouest et au nord-ouest par les bassins de rivières côtières.

Grâce aux multiples affluents venant de toutes les zones climatiques du pays, l'Ogooué est le fleuve le plus complexe du Gabon. En effet, au confluent de l'Ogooué avec l'Ivindo, le bassin voit doubler sa superficie et son débit passe de 1 700 $m^3/s$ en amont du confluent à 2 700 $m^3/s$ en aval, soit 21 $l/s/km^2$. Après ce confluent, l'Ogooué s'engage dans une zone relativement sèche de plus de 12 000 $km^2$, comprise entre Lastourville et Ndjolé, continue de grossir en recevant encore des cours d'eau plus abondants (Okano, Offoué). Mais, il voit son débit spécifique descendre jusqu'à 20,5 $l/s/km^2$ à Ndjolé. Enfin, la réception d'affluents tels que la Ngounié et l'Abanga, provoque une augmentation non seulement du

module brut, mais également du module spécifique, soit respectivement 4 706 $m^3/s$ et 23,1 $l/s/km^2$ à Lambaréné (Mahé G. et *al*, 1990). Ces valeurs sont parmi les plus élevées de la zone intertropicale pour un bassin versant de plus de 200 000 $km^2$.

Selon Carré P. (1978), il convient d'appréhender ce fleuve complexe selon quatre sections :

- le cours supérieur, de la source au confluent de la Mpassa, proche de Franceville ;
- le cours moyen-amont, de Franceville au confluent de l'Ivindo ;
- le cours moyen-aval, de l'Ivindo à Ndjolé ;
- le cours inférieur, de Ndjolé à l'océan Atlantique.

Ainsi, le site Ramsar recoupe l'Ogooué majoritairement dans son cours inférieur. Dans cette section, l'affluent le plus important qu'il reçoit est la Ngounié, sur la rive gauche, cinq kilomètres en amont de Lambaréné. Ce dernier est, par ailleurs, le second plus important affluent du fleuve après l'Ivindo. Sur la rive droite, 39 km en aval de Ndjolé, le fleuve est enrichi par la rivière Abanga qui prend sa source en Guinée Équatoriale. Cependant, le site du bas Ogooué constitue les trois quarts de la partie navigable du fleuve jusqu'à l'embouchure. Dans cette partie, l'Ogooué s'installe dans le bassin sédimentaire côtier, et il devient un cours d'eau homogène. Les seuls accidents constatés désormais sont constitués de bancs de sable et de légers seuils qui n'affleurent qu'en saison sèche.

De Lambaréné jusqu'à une vingtaine de kilomètres en aval d'Aschouka, la vallée de l'Ogooué s'élargit en une vaste plaine alluviale atteignant au moins 50 km de large, constituant le delta intérieur de l'Ogooué. À ce niveau, les bras se multiplient et les plus profonds d'entre eux forment de véritables chenaux plus ou moins navigables communiquant avec les lacs qui s'égrènent des deux côtés du fleuve. Si l'Ogooué est, à n'en point douter, le patron hydrologique de la région, cependant la carte hydrologique montre une dichotomie entre la basse vallée de l'Ogooué, caractérisée par un réseau de type rectangulaire et le delta intérieur caractérisé par un réseau chenaux anastomosés et de lacs dans une large vallée alluviale (figure 16, ci-après).

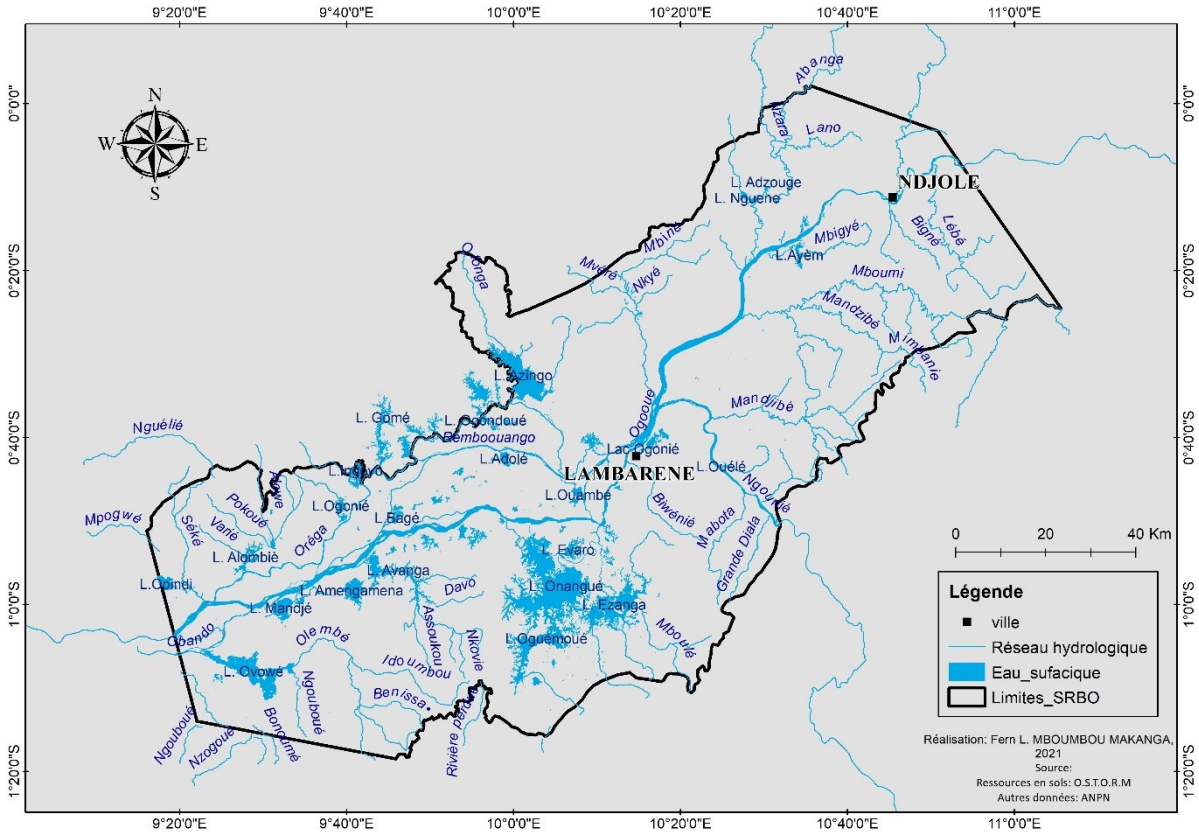



**Figure 16: Hydrographie du Site Ramsar Bas Ogooué**

### 2.2.3. Réseau des lacs permanents

L'Ogooué abrite un vaste ensemble de lacs dont les plus importants d'entre eux se rencontrent sur le bassin côtier, particulièrement le long du cours inférieur du fleuve, dans la région du Bas Ogooué. Le Bas Ogooué, qui correspond en partie, au delta intérieur de l'Ogooué, abrite la plus grande concentration des lacs du Gabon (Moumbongoyo R.,2017). Sur la rive gauche du fleuve, on dénombre les lacs Ezanga, Oguemoué et Onangué ; sur la rive droite, les lacs Azingo, Gomè, Deguélié.

L'origine de ces lacs sont diverses. La plupart des lacs du Bas Ogooué ont une origine topographique, liée à l'aplanissement du relief devenu cuvette. En effet, la région du bas Ogooué correspond à la plaine d'inondation de l'Ogooué. D'autres lacs comme Zilé, en amont de Lambaréné, ont une origine tectonique, liée à des fossés d'effondrement (Collinet J. et Martin D., 1973).

Ces lacs sont alimentés non seulement par les eaux de pluie, mais surtout par l'Ogooué et les rivières environnantes. Ainsi, le lac Azingo, situé sur la rive droite de l'Ogooué en aval

de Lambaréné, est alimenté par les crues de l'Ogooué et les apports de ses émissaires. Son régime dépend donc de celui de l'Ogooué, de la répartition annuelle des précipitations, des infiltrations et de l'évaporation (Mahé et *al*, 1990).

Ce réseau en communication, avec les principaux bras du fleuve, est constitué des lacs ayant des superficies variables et favorise la formation de nombreux marais consécutifs au mauvais drainage des eaux. Par rapport à Lambaréné, qui peut être considéré comme le centre du site, ces lacs peuvent être répartis en lacs du nord et du sud pour distinguer les lacs spatialement au-dessus ou en dessous de Lambaréné (tableau 4, ci-après).

**Tableau 4: Liste de lacs du bassin intérieur de l'Ogooué et leurs superficies**

| **Lacs du Nord** | **km²** | **Lacs du Sud** | **km²** |
|---|---|---|---|
| LAC AZINGO | 55,97 | LAC ONANGUE | 165,45 |
| LAC GOME | 19,09 | LAC EZANGA | 59,16 |
| LAC INGOYO | 8,25 | LAC OGUEMOUE | 48,64 |
| LAC OGONIE | 4,08 | LAC ANENGUE | 51.39 |
| LAC OGONDOUE | 4.17 | LAC MANDJE | 13.91 |
| LAC ALOMBIE | 10 ?38 | LAC AGONIE | 16.70 |
| LAC DEGUELIE | 6.53 | LAC AVANGA | 33.55 |
| LAC ADOLE | 4.95 | LAC NVONDJE | 9.40 |
| LAC ZILE | 7,64 | LAC EVARO | 9,8 |
| LAC OUAMBE | 5.08 | LAC BAGE | 5,73 |
| LAC NGUENE | 4,02 | LAC OVOWE | 58,49 |
| LAC AYEM | 6,02 | LAC ADZOUGE | 1,17 |
| LAC OPINDI | 8,01 | LAC AMENGAME | 16,67 |
| LAC OUELE | 0,87 | LAC MANDJE | 12,92 |
| **Total** | **113,95** | **Total** | **378,03** |

**Réalisation : Fern MBOUMBOU MAKANGA**

## 2.3. Biodiversité et climat

### 2.3.1. La faune

La faune est composée de mammifères remarquables (Tableau 5, ci-après)., tels que l'hippopotame (*Hippopotamus amphibius*) ou le lamantin (*Trichechus senegalensis*),*)*.

**Tableau 5: Quelques espèces menacées dans le site Ramsar Bas Ogooué**

| Non commun | Nom scientifique | IUCN | CITES |
|---|---|---|---|
| Lamantin | *Trichechus senegalensis* | Vulnérable | Annexe I |
| Hippopotame | *Hippopotamus amphibius* | Pas encore évalué | Annexe II |
| Eléphant | *Loxondonta africana* | Pas encore évalué | Annexe I |
| Crocodile nain | *Osteolaemus tetraspis* | Vulnérable | Annexe I |
| Faux gavial | *Mecistops cataphractus* | Déficience de données | Annexe I |

Source ? Réalisation ?

Concernant l'avifaune, quelques études ont déjà été réalisées, dont celle de Vande Weghe JP., (2007), Christy P. (1999), Schepers F. (1992). À cet effet, sont présents de nombreux oiseaux d'eau migratoires dans le site du bas Ogooué. Certains y vivent toute l'année. On peut citer : le pélican gris (*Pelecanus rufescens*), le petit cormoran (*Phalacrocorax africanus*), la grande aigrette (*Egretta alba*) et la Sterne pierregarin (*Sterna hirundo*). À proximité des lacs, on trouve souvent des populations de héron cendré (*Ardea cinerea)*, d'aigrette garzette (*Agretta garzetta)* et d'aigrette à gorge blanche (*E. gularis)*. La sterne royale (*Sterna Maxima)* migre en masse au Gabon dès la fin du mois d'août, et la côte gabonaise constitue son principal lieu d'hivernage. Leur nombre peut dépasser 10 000 individus au Gabon (Vande Weghe, 2007). De nombreux autres oiseaux comme la Guifette noire (*Chlidonias niger)*, le bec-en-ciseaux d'Afrique (*Rynchops Flavirostris)* nichent en nombre important sur les bancs.

Ce milieu abrite aussi une très grande variété de gros oiseaux, notamment les hérons : héron cendré (*Ardea cinerea*), héron goliath (*Ardea goliath*), héron mélanocéphale (*Ardea melanocephala*), héron pourpré (*Ardea purpurea*), héron garde bœuf (*Bubulcus ibis*), héron strié (*Butorides striatus*). Le Bas Ogooué regorge aussi d'autres espèces d'oiseaux tels que le touraco, le faucon, le Calao, le Cormoran africain (*Phalacrocorax africanus*). D'autres espèces comme l'aigle de cassin (*Spizaetus africanus*), l'aigle couronné (*Stephanoaetus coronatus*), peuplent aussi les grands plans d'eau. L'omniprésence des pélicans qui nichent au sommet des fromagers (*Ceiba pentandra*), le

long de la rivière Agouma (qui signifie fromager en langue myéné), appelée aussi « rivière des pélicans".

Des études exhaustives réalisées (Mbega, 2004, ;Fermon Y., 2013) dans le cadre de la caractérisation ichtyologique des bassins versants gabonais, illustrent la diversité en ressources halieutiques du bassin inférieur de l'Ogooué. Sur ce site, les poissons sont représentés par des variétés de carpes (*Tilapia tholloni*, *Tilapia nyongana*, *etc.*), des mormyres (*Stomatorhinus walkeri*, *Pollimyrus marchei*, *etc.*), des gougeons (*Barbus trispilomimus*, *Barbus sp, etc.*), des machoirons (*Arius latiscutatus*, *Anaspidoglanis macrostoma*, *Chrysichthys auratus*, *etc.*) (tableau 6, ci-après).

**Tableau 6: Quelques familles de poissons dans le site Ramsar Bas Ogooué**

| **Non commun** | **Famille** |
|---|---|
| Carpe | *Cichlidae* |
| Sans non | *Arapaimidae* |
| Machoiron | *Claroteidae* |
| Becune | *Sphyraenidae* |
| Brochet | *Hepsetidae* |
| Capitaine eaux douces | *Polymemidae* |
| Mulet | *Alestidae* |
| Silure | *Claridae* |
| Lotte | *Channidae* |
| Yara | *Schilbeidae* |
| Anguille | *Protopteridae* |
| Tanche | *Distichodontidae* |
| Fidèle | *Elopidae* |

**Source : Mbega 2014 ; Fermon Y., 2015**

### 2.3.2. La flore

Le WCS (2013), dans le cadre du projet d'appui au renforcement des capacités de gestion des parcs nationaux et de la biodiversité (PARC), a identifié une flore composée de 374 espèces ou pseudo-espèces dominée essentiellement par les *Rubiaceae* et les *Legumunosae-Caesalpinioideae* (Boupoya A. et Stévart T., 2013). Egalement sont présentes dix espèces endémiques du Gabon, précisément dans la zone du complexe Evaro-Wonga-Wongué.

Les caractéristiques principales de la végétation sont constituées d'important réservoir de papyraies à *Ficus spp.,* de roselières ancrées à *Echinochloa spp*., de fourrés à *Alchornea cordifolia*. C'est aussi un environnement remarquable pour les fourrés flottants

à *Alchornea cordifolia.* On retrouve les papyraies par îlots dans tout le complexe, depuis la vallée de la Mbiné jusque dans la partie centrale du delta marin, mais surtout le long des principaux bras du fleuve riche en alluvions. Les parties basses de la plaine alluviale de l'Ogooué sont, généralement, couvertes de vastes étendues à *Echinochloa sp*. qui forment un couvert végétal assez dense de 1-1,50 m de haut

À côté des marais bas, des marais *arbustifs à Alchornea cordifolia* se développent sur les levées alluvionnaires et dans les zones inondées par des eaux riches en alluvions. Ces marais arbustifs sont fréquents dans l'est de la plaine alluviale, et surtout dans les deltas intérieurs. Cette formation semble succéder aux herbiers à hautes Poaceae et aux papyraies. Elle est, à son tour, colonisée par le fromager *Ceiba pentandra* (Malvaceae), qui forme de longues rangées d'arbres imposants.

Les formations arborescentes sont donc composées de forêts ripicoles, des forêts inondables et des forêts de terre ferme (BIDAULT E. et *al.,*2017). Les forêts ripicoles subissent de fortes variations du niveau des eaux. Elles sont généralement à sec en saison sèche, mais elles baignent sous plusieurs mètres d'eau lors des grandes crues. Elles se développent typiquement sur les levées alluvionnaires en bordure d'eau riche en alluvions. L'arbre le plus typique est *Uapaca heudelotii* (Euphorbiaceae). Ces forêts existent tout au long des grands cours d'eau en amont de Lambaréné et dans la plaine alluviale. Vers l'ouest de la plaine, elles sont toutefois moins caractéristiques et souvent fragmentées. Dans la région de Lambaréné, ce type de forêt est localement envahi par un arbre introduit tel que le manguier *Mangifera indica* (Anacardiaceae).

Les forêts marécageuses, quant à elles, sont toujours humides et subissent des variations moins importantes du niveau des eaux. La nappe d'eau est tantôt au-dessus de la surface tantôt juste à fleur du sol. Comme dans les forêts ripicoles, le sous-bois est généralement très ouvert. L'arbre typique est *Anthostema aubryanum* (Euphorbiaceae). Dans toutes les forêts marécageuses, se retrouvent très localisés des palmiers raphias (*Raphia hookeri*). Mais, en certains endroits, ceux-ci peuvent être mono-dominants. Ces forêts sont très étendues sur le pourtour de la plaine alluviale, en arrière des levées alluvionnaires en amont de Lambaréné et dans les deltas intérieurs. Ces forêts denses se développent dans les zones inondées par les eaux noires des lacs et chenaux éloignés des bras principaux, qui charrient des eaux lourdement chargées d'alluvions.

Les forêts de terres fermes couvrent toute la périphérie du complexe de milieux humides, ainsi que les îlots émergents dans la plaine alluviale. Cette forêt atlantique a été beaucoup perturbée par les exploitations du bois du passé.

En effet, dans la région du Bas Ogooué a débuté l'exploitation du bois, à la fin du 19e siècle. L'Okoumé (*Aucoumea Klaineana)* et l'Ozigo (*Sacoglottis gabonensis)* dominent ces formations. À côté de celles-ci, existent aussi des formations arborescentes, comme des fourrés semi-flottantes à *Alchornea cordifolia*.

Egalement, dans le bassin de l'Ogooué, sont présentes de nombreuses zones de savanes à *Ctenium*, *Hyparrhennia,* et des savanes inondables. Quelques étendues de savanes se développent en bordure des lacs Evaro, Oguémoué, Gomé et Alombié. Ce sont des savanes à végétation herbacée, assez haute et dense, comme dans les savanes côtières sur sols sablo-argileux. Toutes ces savanes sont totalement dénuées de végétation arbustive ou arborescente (BIDAULT E. et *al*., 2017)

### 2.3.3. Les éléments du climat

La zone humide du Bas Ogooué est caractérisée par un climat équatorial de transition de la zone centrale. Il peut être subdivisé en deux sous-climats (Saint Vil, 1977) :

- un sous-climat entre les limites du climat équatorial pur, au nord, et le climat équatorial de transition (domaine du régime francevillien), au sud-est (Saint-Vil J., 1977). Les limites de cette zone englobent la province de la Ngounié, une partie de celles de l'Ogooué, au nord de la confluence avec la Ngounié. La pluviométrie annuelle est supérieure à 2000 mm d'eau.
- un sous-climat similaire à la région de l'Estuaire du Komo, qui se distingue par une pluviométrie très importante de l'ordre de 2000 mm à 4000 mm par an (figure 17, ci-après).

Malgré les quelques variations observées dans le delta maritime, on distingue quatre saisons plus ou moins bien marquées (Mengue M'edou C. et *al*, 2008 ; Maloba Makanga J.D. 2010) :

- la grande saison sèche de mi-juin à mi-septembre, caractérisée par une baisse des températures, un ciel couvert et des précipitations très rares et très faibles. Cette quasi-absence de précipitations provoque une diminution de l'activité de

croissance des végétaux, une chute limitée des feuilles et une baisse des niveaux des rivières. La brise de mer est constante et les vents sont de secteur sud ;

- la petite saison des pluies, de mi-septembre – mi-décembre, est marquée par de fortes précipitations et par une reprise de la vie végétale, c'est la saison la plus chaude ;
- la petite saison sèche, de mi-décembre à fin février, souvent à peine marquée. Les pluies connaissent un ralentissement important ;
- la grande saison des pluies, de mars à la mi-juin, pendant laquelle on remarque la reprise de l'insolation et celle de la pluviosité qui atteignent leur maximum en mars-avril.

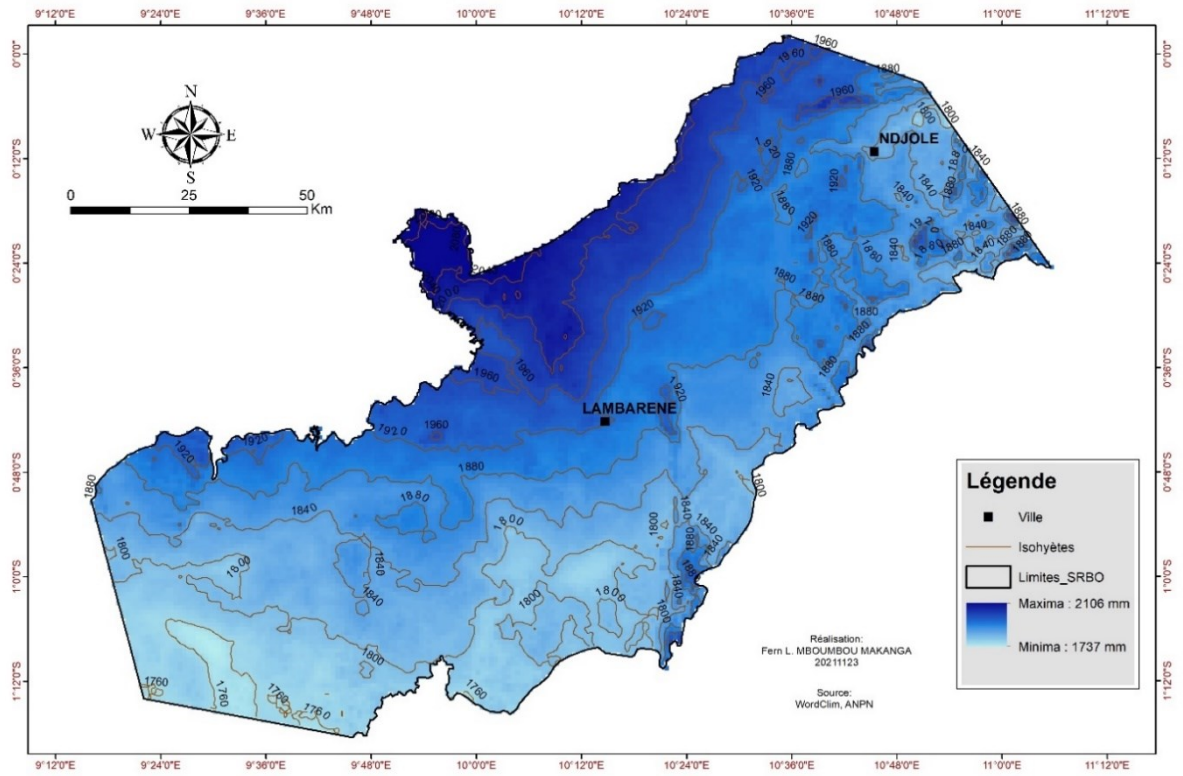



**Figure 17: La pluviométrie annuelle moyenne dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

A Lambaréné, la conjonction des eaux de toutes les zones climatiques, achève de donner, à ce cours d'eau, sa plus grande complexité. L'année hydrologique débute et double en octobre avec un débit de 4 260 $m^3/s$. L'écoulement atteint sa valeur maximale en novembre (7 581 $m^3/s$). En décembre, le volume des eaux décroît peu (7 107 $m^3/s$). Les basses eaux, de la grande saison sèche, prennent place avec beaucoup moins de brutalité. En conséquence, le coefficient de débit s'établit à 0,98, en juin, à Lambaréné (Mahé G. et *al*, 1990). La chute est beaucoup plus marquée à partir de juillet (sécheresse

sur presque tout le pays). Les crues sont modérées et surviennent vers la fin de chaque saison pluvieuse, la première l'emportant sur la seconde. La crue la plus puissante de l'Ogooué, à Lambaréné, date des 17 et 18 novembre 1961 (13 500 $m^3/s$). L'amplitude maximale entre les crues interannuelles est faible : le rapport entre la crue la plus puissante et la crue la plus faible est de 2 (Mahé et al, 1990).

Le fleuve Ogooué, patron hydrologique du site, est lié à l'histoire de l'océan Atlantique. En effet, l'histoire du complexe deltaïque du bas Ogooué repose sur deux phases essentielles, dont la première est à la mise en place du "plancher" du bassin côtier (250 Ma-2 Ma) et la seconde est relative à la mise en place des alluvions récentes, il y a 6000 ans, quand l'océan Atlantique est revenu à son niveau actuel après une longue période de niveaux bas due à une période de climat frais et sec.

Ainsi, le site Ramsar du Bas Ogooué est situé dans le bassin sédimentaire côtier et se divise en deux par le socle du horst Lambaréné-Chinchoua, mettant ainsi, en évidence un bassin intérieur correspondant à un synclinal faillé avec des dépôts épais continentaux, et un bassin atlantique avec des dépôts à dominante marine.

Sur le plan pédologique, les sols du site du bas Ogooué sont classés dans la catégorie dite imperméable. Ils sont généralement situés dans les milieux très mal drainés, parsemés de vastes marécages, de dépressions qui abritent des marais et des lacs.

Néanmoins, l'omniprésence d'une couche humifère nuance cette tendance générale. En effet, elle accroît la porosité superficielle ; l'humus favorise le ralentissement du ruissellement et facilite l'infiltration.

Grâce à son histoire sédimentologie et aux multiples affluents venant de toutes les zones climatiques du pays, l'Ogooué est le fleuve le plus complexe du Gabon. Le climat équatorial de transition de la zone centrale et la mosaïque de végétation humide et de terre ferme, lui permettent d'abriter une faune exceptionnelle à l'instar des mammifères remarquables tels que l'hippopotame ou la présence de nombreux oiseaux d'eau migratoires.

# CHAPITRE 3 : CARACTERISTIQUES SOCIOECONOMIQUES DU SITE D'ETUDE

*Le Bas Ogooué n'est pas le socle d'une vie animale et floristique isolé, mais un bassin de vie mêlant biodiversité et sociétés humaines. En effet, le Bas Ogooué est l'unique site Ramsar du pays qui regroupe plus d'une ville et une centaine de villages dans son enceinte.*

*Longtemps dépréciés ou jugés, parfois à tort, comme des milieux insalubres, l'émergence de nouvelles connaissances et représentations sur les zones humides depuis les années 1990 a favorisé une prise de conscience collective sur leur importance (Bernard P., 1994). En effet, il est reconnu qu'elles fournissent de nombreux services et avantages aux sociétés.*

*Dans le cas du Bas Ogooué, ces zones sont utiles pour la pêche, l'extraction des matériaux, les besoins élémentaires, etc. A côté de ces besoins des communautés se mêlent les besoins industriels et la vie urbaine avec les impacts et les rejets inhérents.*

*Dans ce chapitre, nous procédons à un recensement des modes d'occupation de l'espace, de l'organisation des sociétés et des usages des terres dans le site Ramsar du Bas Ogooué. Nous présentons, ici, le cadre administratif, institutionnel, la démographie et l'ensemble des activités artisanales et industrielles.*

## 3.1. Cadres administratif, institutionnel et démographique

### 3.1.1. Étendue administrative

Le Site Ramsar du Bas Ogooué est à cheval sur les provinces du Moyen-Ogooué (départements de l'Ogooué et Lacs et de l'Abanga Bigné) et de l'Ogooué-Maritime (départements de Bendjé et d'Etimboué). Il est également frontalier des provinces de l'Estuaire (départements du Komo-Océan et du Komo-Kango) et de la Ngounié (département de Tsamba Magotsi). Le plus grand site Ramsar du pays renferme environ 166 villages, et est également le seul à inclure dans ses limites deux communes, dont Lambaréné, le Chef-lieu de la province du Moyen-Ogooué (Figure 18, ci-après). De ce fait, il abrite tous les Services centraux de la province du Moyen-Ogooué, tels que le Gouvernorat ou les directions provinciales.

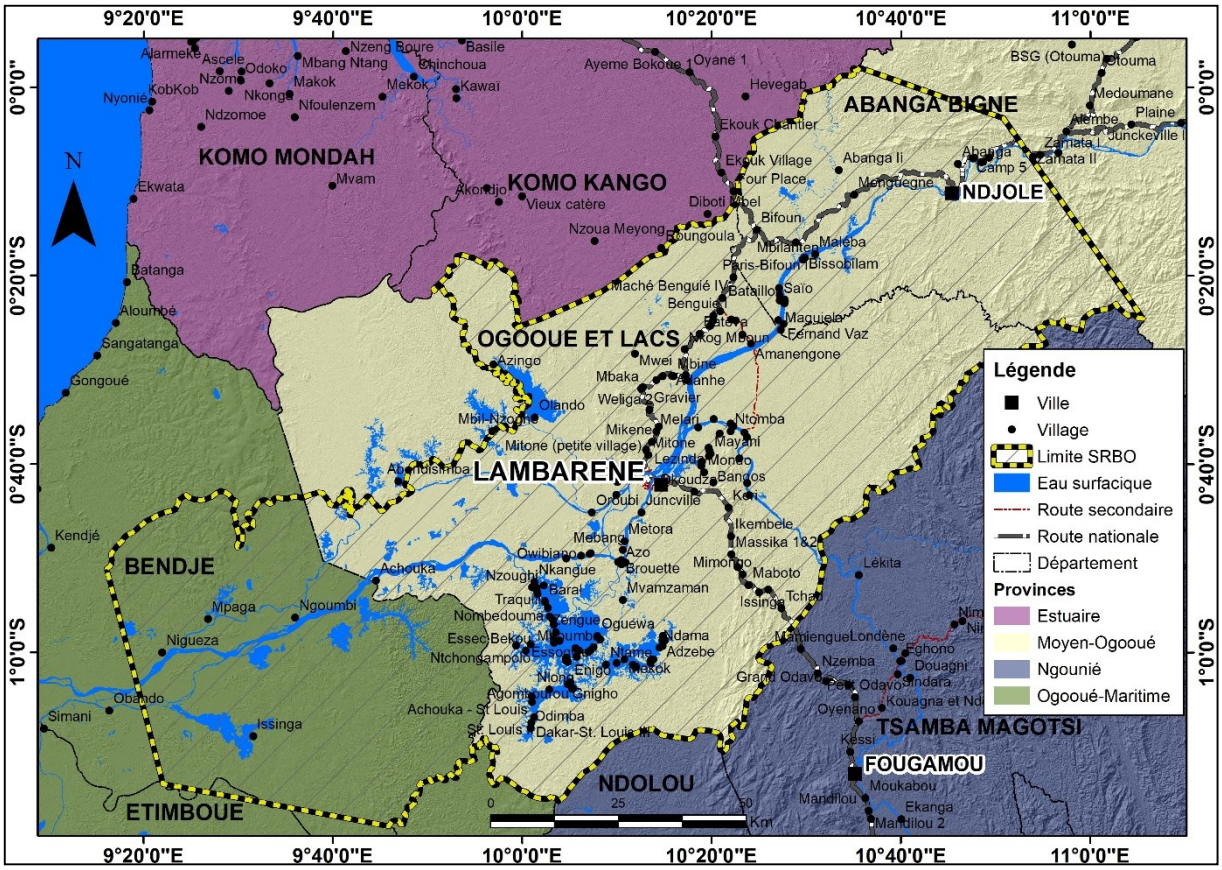



**Figure 18: Carte administrative de la région du Site Ramsar du Bas Ogooué**

En effet, le site Ramsar s'étale majoritairement dans la province du Moyen-Ogooué soit 75 % de sa superficie contre 25 % situés dans la province de l'Ogooué-Maritime dans laquelle on dénombre cinq villages et un regroupement de villages (lac Anengué). *A contrario*, sur les 10 regroupements de villages que compte le Moyen-Ogooué, le Site Ramsar du Bas Ogooué en renferme neuf, à savoir : les cantons Lacs du nord, Lacs du sud, Ogooué-Mbiné, Ogooué-Aval, Ogooué-Ngounié, Samkita, Bifoun-Weliga, Ebel-Abanga et Ebel-Alembé.

### 3.1.2. Cadre institutionnel et prise de décision

Le cadre institutionnel est caractérisé par la présence du pouvoir coutumier et du pouvoir étatique (moderne). Au niveau des villes, de façon hiérarchique, la province est administrée par un Gouverneur, représentant le Président de la République. Il est le garant des intérêts économiques et sociaux. Le département est placé sous l'autorité d'un Préfet, qui exerce l'autorité de l'État, et du Président du Conseil Départemental qui représente les collectivités territoriales. Le district est administré par un Sous-Préfet et la commune par un Maire. Si le Maire et le Président du Conseil départemental sont élus, les autres responsables sont nommés par décret du Président de la République.

Au niveau des collectivités locales, la plus petite unité territoriale reconnue en République Gabonaise, est le village. Par la suite, des villages peuvent se constituer en regroupement de villages ou être regroupés dans un canton. Le Chef de village, le Chef de regroupement et le Chef de canton sont les représentants officiels des entités dont ils ont la gestion, dans leurs relations avec l'extérieur, et sont nommés par le Préfet du département dont est rattaché le village, et par le Gouverneur, pour le chef de canton.

Quelquefois, l'autorité de ces chefs est contestée par la population qui reproche à ces derniers un individualisme exacerbé, une incapacité à résoudre les problèmes qui surviennent aux villages et une incapacité à informer les populations par rapport à l'actualité de l'administration. Dans la majorité des villages, les chefs aux attributions modernes ou traditionnelles sont des personnes âgées. On est en présence d'une véritable gérontocratie. En plus de la fonction de représentation, l'autorité administrative a le mandat de régler les conflits au sein du village et est assistée, dans cette tâche, par des notables. Certains peuples, comme les *Galoa*, principalement, associent à l'exercice de ce pouvoir administratif, l'autorité traditionnelle avec le *Mwiri*[5].

Dans les villages visités, les notables sont répartis en deux catégories. Une première catégorie est constituée de personnes choisies par le chef de villages et/ou de regroupement et approuvées par les populations en raison de leurs qualités humaines et de leur éloquence. Une seconde catégorie comprend des individus tirant leur légitimité de leur statut de chef de lignage (segment de lignage) ou des retraités ayant rejoint le village. Tous ces notables assistent l'autorité administrative dans la gestion des affaires communautaires ou villageoises.

[5] Le *Miviri* est une société initiatique masculine très répandue dans les groupes *dans le* Sud Gabon. Il partage de nombreux traits avec d'autres sociétés initiatiques comme le *Mongala* (groupe *kota-kele*), le *Yasi* (Galwa), le *Ngil* (Fang) ou le *Ndjobi* (Haut-Ogooué). La fonction première du *Miviri* est celle d'un classique rite de passage pubertaire : fabriquer des hommes à partir de jeunes garçons. Seule l'initiation peut en effet octroyer la *vraie* masculinité, plus rituelle que biologique – les garçons non-initiés étant considérés comme des femmes.

À côté des notables, il y a l' « élite villageoise» constituée de personnes originaires du village, et bénéficiant généralement d'un relatif haut niveau d'instruction et/ou d'un statut politique relativement important. Elles occupent un emploi dans des catégories socioprofessionnelles élevées et résident en milieux urbains, voire à l'étranger. Dans l'ensemble des villages étudiés, deux types d'élites ont été identifiés : le premier type défini par le niveau d'instruction, permettant donc d'appartenir à une classe socioprofessionnelle moyenne ; alors que le second le devient, grâce à son appartenance politique.

Un autre type de Chef, non reconnu par l'administration, est le chef ou descendant du lignage fondateur. Ce dernier tire sa légitimité du droit de hache. Il est compétent pour toutes les questions concernant les limites du territoire du village. Il exerce son autorité sur les membres de son lignage ; la gestion des droits sur les espaces et les ressources au niveau lignager, relèvent de ses compétences. Il détient l'autorité sociale en matière d'usage, d'allocation et de litiges sur les ressources naturelles. Il n'est, toutefois, pas reconnu comme une entité juridique locale, ni comme un chef de terre.

### 3.1.3. Structure de la population

La population est très inégalement répartie entre les départements. Le département de l'Ogooué et Lacs accueille plus des ¾ de la population de la province, avec une densité de 4,9 habitants/km2, contre une moyenne de 3,7 habitants/km2, pour toute la province. L'urbanisation est importante, près de 66% de la population est urbaine. La ville de Lambaréné, concentre la majorité de la population avec 38 775 habitants, soit 84,97% de la population urbaine de la Province du Moyen-Ogooué et 55,96% de la population totale de la province.

En milieu rural, on compte :

- Sur l'axe Lacs du Sud (Bas Ogooué) : 8 regroupements de villages pour 13 506 habitants ;
- Sur l'axe Lacs du Nord (Bas Ogooué) : 2 regroupements de villages et hameaux pour 1651 habitants.

L'occupation des sols obéit à des règles. Les espaces qu'ils occupent comprennent les lieux d'habitation, les zones de chasse, de pêche, de cueillette, et les sites sacrés. Les villages sont localisés, sur les routes nationales, le long du fleuve Ogooué, autour des lacs. On constate également que la présence des activités industrielles, notamment l'exploitation forestière, a favorisé la création des certains villages qui dateraient des années 60. De manière générale, on note une faiblesse démographique dans la majorité des villages. Cependant, bien que les ethnies *Fang, Omiénè* et *Akélé,* soient originaires de la province, on note une forte présence de populations allochtones. Ces groupes ethniques, installés depuis plusieurs décennies, font partie intégrante de l'environnement qui est devenu le leur.

Dans les Lacs du nord, les populations vivent dans des campements de pêches permanents, bien que construits sur d'anciens villages. Aucune structure de regroupement n'est présente, y compris entre des îles appartenant à un même lac. Cette organisation contraste avec celle des Lacs du sud, où les regroupements de villages sont organisés selon le modèle classique de plusieurs villages qui deviennent des quartiers, comme à Alhona dans le regroupement de Ndama. On peut néanmoins constater une exception au nord, autour du Lac Gomè, avec le regroupement de Gomè-Dakar.

Par le passé, les règles d'utilisation des terres, par les ''autochtones'', facilitaient les interactions entre l'homme et la nature. Avec l'arrivée très importante des autres communautés et l'intrusion du droit moderne, tous les fondements d'usage et de droits coutumier se sont progressivement érodés.

## 3.2. Principales activités

### 3.2.1. Les activités industrielles

#### a. L'agro-industrie

Le Moyen-Ogooué est l'une des premières provinces à abriter l'activité agro-industrielle avec l'implantation de la palmeraie de Makouké. La plus ancienne palmeraie du Gabon, y est exploitée depuis 1981. La culture du palmier à huile, précédemment développée par la société Siat Gabon (agro-industrie), est depuis 2016 exploitée par Olam. Ainsi, 7500 ha de plantations sont cultivés industriellement par cette société, qui compte

agrandir ses plantations. En dehors des plantations, la société comprend deux unités de production (d'une capacité de 30 000 tonnes) basées l'une à Lambaréné et l'autre à Makouké.

Elles produisent de l'huile de palme brute et des produits dérivés : oléine, stéarine et savon. Ces centres incluent les concessions de plantations totalisant 24 506 ha dont 5 799 ha d'anciennes plantations de palmiers (propriété de SIAT Gabon) converties en plantations d'hévéa à Zilé ; 9 899 ha à Makouké ; 3 321 ha à Bindo et 5 488 ha de plantations de palmiers à huile à Bindo-Bifoun.

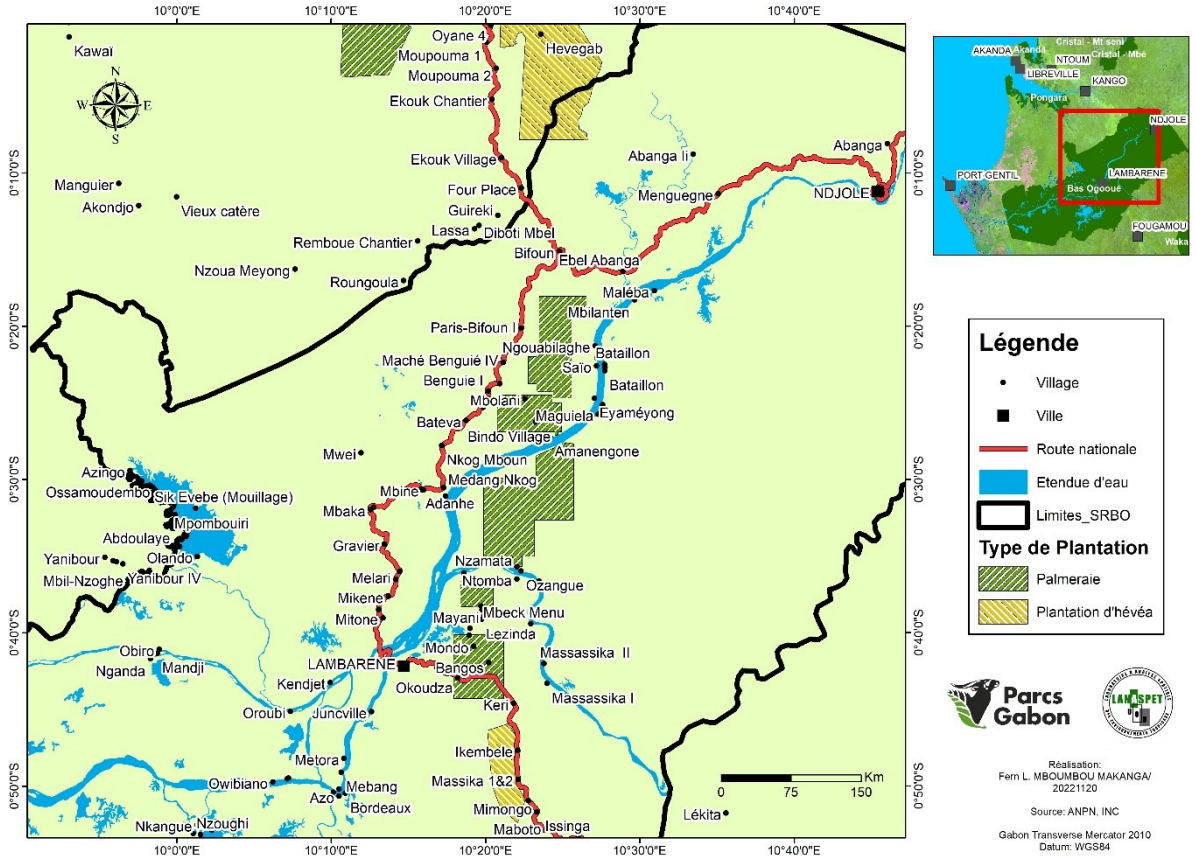



**Figure 19: Sites agroindustriels pour présents dans le Site Ramsar du Bas Ogooué**

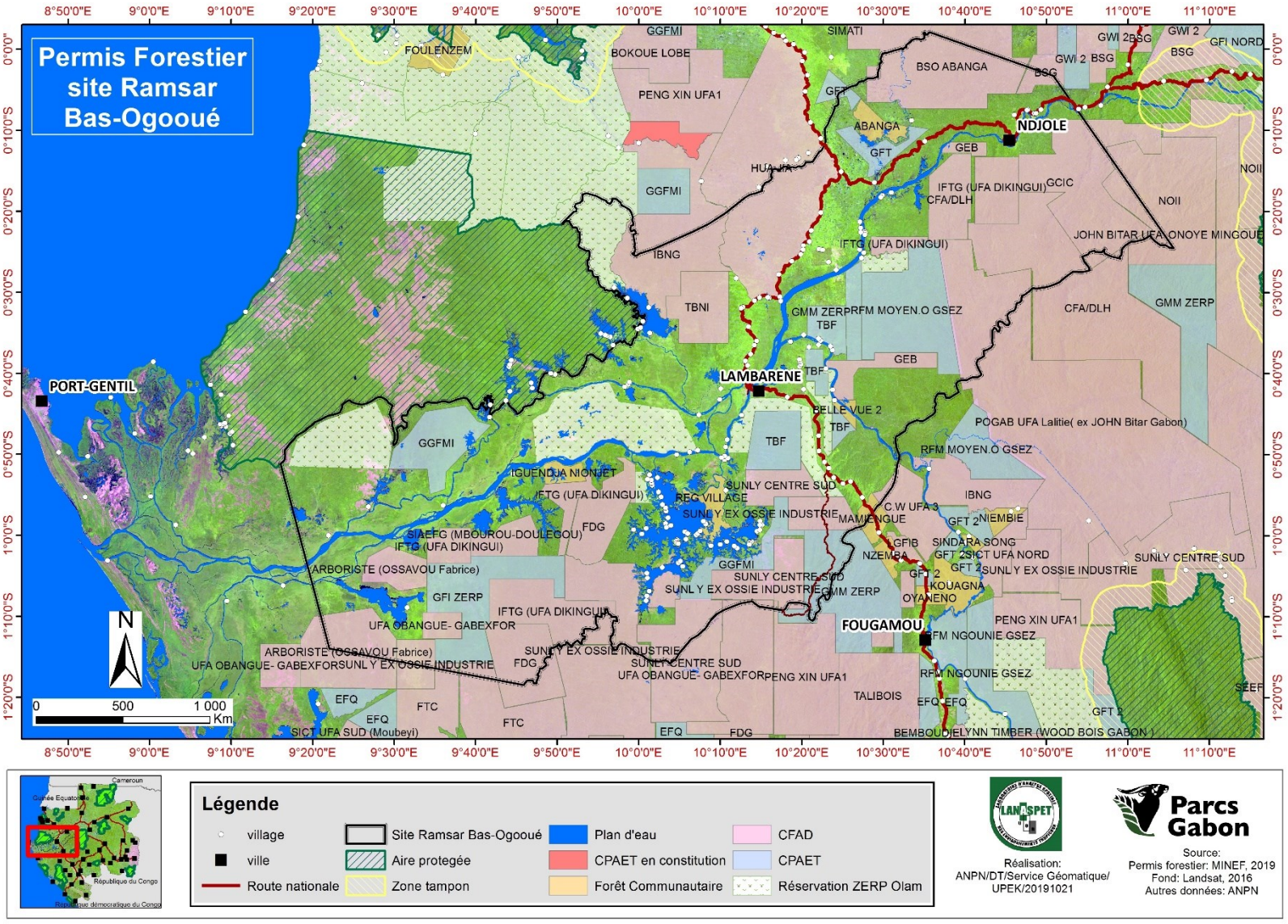
## b. L'exploitation forestière et l'industrie du bois

Dans le Bas Ogooué, les activités d'exploitation et de transformation du bois sont exercées par plusieurs entreprises, dont les plus importantes sont d'origine asiatiques : [Bordamur, Rimbunan Hijau, Cefor Sunly, Bois et Scierie de l'Ogooué (BSO), Bois et Scierie du Gabon (BSG), Brother's Lumber Company LTD], et quelques-unes occidentales comme Corawood et Rougier Gabon. Avec la suppression des coupes familiales, en 2006, et

l'instauration des forêts communautaires, les possibilités d'obtenir un permis pour les petits exploitants se sont réduites.

Le site Ramsar, renferme deux grandes zones d'exploitation forestière. La première occupe tout le versant nord et s'étend de Lambaréné à Ndjolé. La deuxième zone qui couvre tout le delta intérieur de l'Ogooué est située majoritairement sur les petites collines autour du domaine lacustre. Fournies par la Direction Générale des Forêts, en 2022, les dernières données officielles font état d'un total de 72 permis forestiers enregistrés dans le Bas Ogooué, couvrant un peu plus de 819 750 ha, soit 60% de la surface totale du site Ramsar (figure 20, ci-après). Les principales essences exploitées sont : l'Okoumé (Aucoumea klaineana), l'Azobé (Lophira alata), le Makoré (Tieghemella africana).

**Figure 20: Permis forestiers dans le Site Ramsar du Bas Ogooué**



### c. L'exploitation minière

De nombreuses activités extractives sont pratiquées dans la province du Moyen-Ogooué notamment, dans la région du Bas Ogooué et ses environs dont le sous-sol renferme d'importants gisements de minerais tels que l'or, l'uranium, le phosphate, le niobium, le tantale et le manganèse.

Plusieurs sociétés exploitent ces minerais (figure 21, ci-après), à savoir :

- la Compagnie Minière de l'Ogooué (COMILOG) filiale d'ERAMET, qui exploite le niobium dans le site de Maboumine, à l'est de Lambaréné ;
- la Compagnie Industrielle et Commerciale des Mines de Huazhou (CICMHZ), qui exploite le manganèse à la périphérie de Ndjolé ;
- Alpha Centauri Mining SA (ACM), qui exploite l'or, à 10 km de Ndjolé.

Des centaines d'orpailleurs illégaux, en majorité des étrangers, écument la forêt en partant du village Makala, à 7 km de Ndjolé, jusqu'aux berges de la rivière Waka, dans la Province de la Ngounié, à plus de 100 km. Outre le fait que le démantèlement des camps d'orpaillage du Parc National de Minkébé (Province de l'Ogooué Ivindo) n'a fait que déplacer le problème vers Ndjolé, le manque de surveillance et les difficultés d'accès dans les campements les plus éloignés favorisent cette nouvelle « ruée » vers l'or. Il ressort que dans un campement d'une centaine d'orpailleurs, seul 6 sont de nationalité gabonaise. De plus, l'orpaillage illégal entraîne une déforestation massive et le développement de trafics d'ivoire, de drogues, d'armes et de personnes, mettant en danger la sécurité nationale.

L'exploitation des bancs de sables, situés le long du bas Ogooué, devrait être mieux réglementée de manière à ne pas perturber les équilibres naturels ; notamment les zones de reproduction des alevins et de certains oiseaux d'eau.

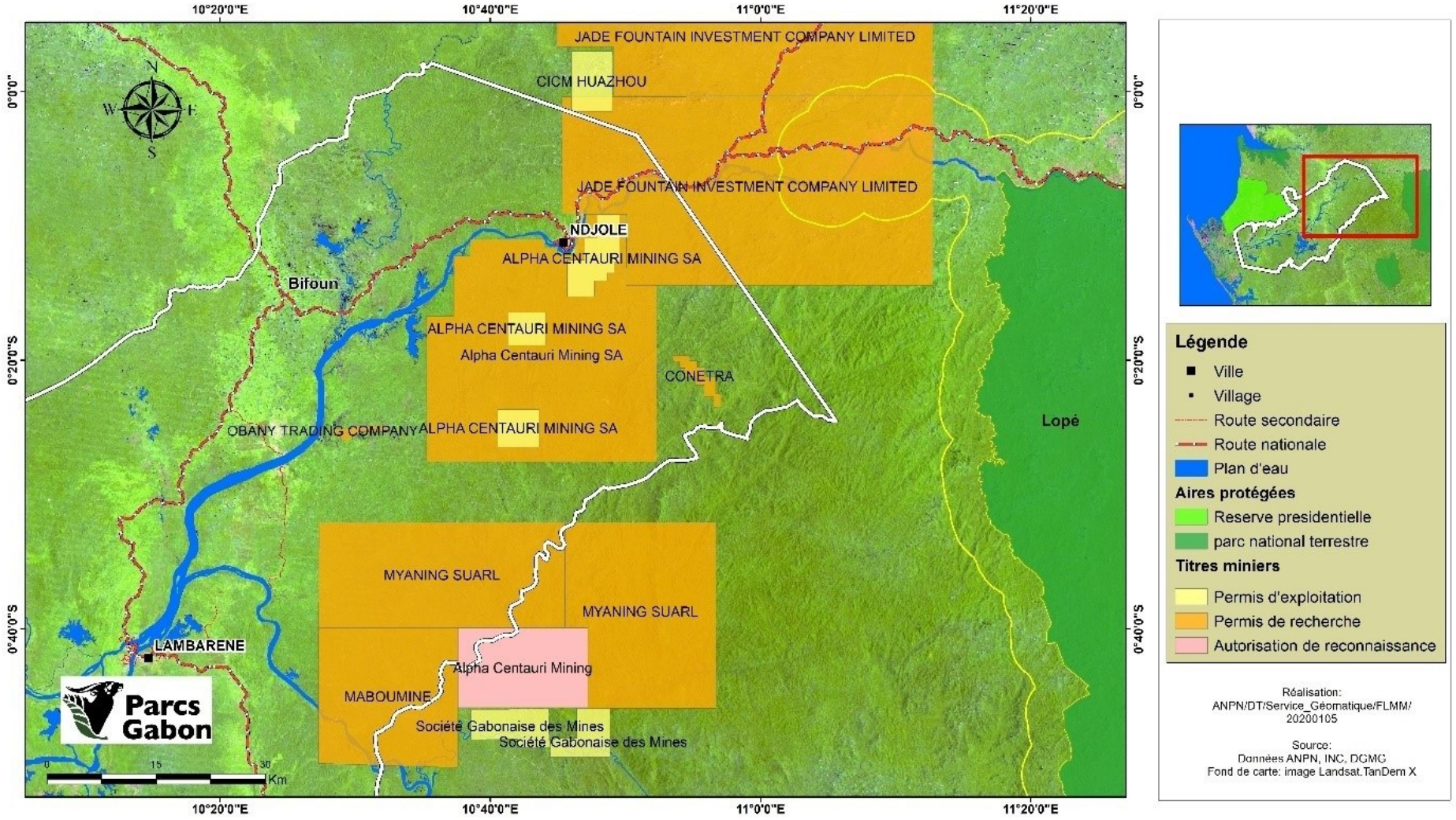



**Figure 21: Permis miniers dans le Site Ramsar du Bas Ogooué**

### d. L'exploitation pétrolière

L'industrie pétrolière compte plusieurs entreprises qui détiennent des permis d'exploration dans le site du Bas Ogooué (figure 22, ci-après). Néanmoins, seul le Groupe Maurel est en exploitation dans le Site depuis février 2009, à travers le champ d'Onal sur le permis Ezanga (Bloc Mbindji). Il a une capacité de production de 19 000 barils/jour. Restreinte depuis l'incident survenu le 28 avril 2022 sur les installations du terminal pétrolier de Cap Lopez, la restauration des capacités d'export est en cours depuis le 4 mai (Maurel & Prom, 2022).

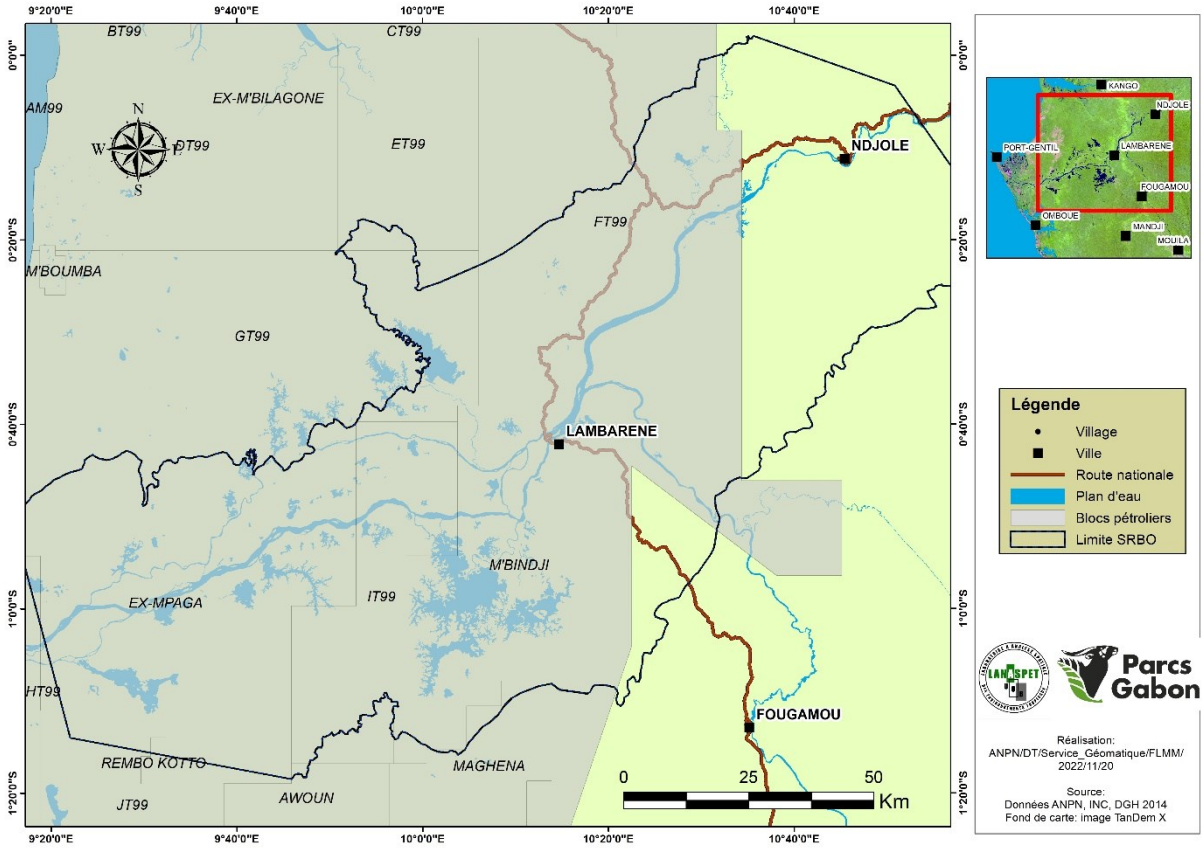



**Figure 22: Blocs pétroliers dans le Site Ramsar du Bas Ogooué**

Dans la nuit du 15 au 16 décembre 2017, Un problème mécanique s'est produit à la mi-décembre sur le site d'ONAL. Environ 80 à 90 m3 de brut de pétrole brut se sont dans une rivière et dans le lac Ezanga situés à proximité, alors que de nombreux habitants vivent de la pêche dans cette zone (France 24, 2018).

Au lendemain de l'incident, des barrages ont été installés sur la rivière pour empêcher le brut d'aller plus loin, mais ils n'ont pas été très efficaces car de fortes précipitations se sont abattues sur la zone. Des riverains ont affirmé que du pétrole s'est retrouvé dans la rivière (planche 1), sur les arbres à proximité, et même dans le lac

Ezanga, notamment sur des filets de pêche. Bien que la Direction de Maurel et Prom ait minimiser l'incident, ces mêmes riverains ont dit avoir retrouver des poissons morts et des boulettes de brut sur des animaux (CREDH, 2018).

**Planche 2: Photos diffusées sur les réseaux sociaux, à la suite de l'incident qui s'est produit sur le site d'Onal**
**Source : Marc ONA ESSANGUI**

En 2015, le club de l'amitié, une organisation non gouvernementale de développement durable rural, signalaient déjà des dérives de la part de la société Maurel et Prom. En effet les populations locales se plaignaient du déversement et l'abandon d'eaux et de boue de forage à proximité des rivières Mvul, Kume et Bissoung qui se jettent au lac Ezanga. L'ONG s'inquiétaient également de l'impact des gaz libérés par les torchères sur la qualité de l'air.

### e. Transport fluvial

L'activité de transport fluvial, est dominée par le mouvement des remorqueurs, des barges et des transporteurs fluviaux. Les remorqueurs et les barges sont spécialisés dans le transport de produits pétroliers, pour ravitailler Ndjolé et Lambaréné, et le transport de bois. Pour le transport de grumes, l'activité bénéficie aux exploitants. De nombreuses barges sont mises en service avec des capacités allant de 250 $m^3$ à 600 $m^3$.

Les barges dédiées au transport des produits pétroliers sont exploitées pour le

ravitaillement des dépôts de Ndjolé et Lambaréné, qui desservent le sud et la partie septentrionale du pays. Le transport des usagers entre Port-Gentil et Lambaréné est assuré par des vedettes ayant une capacité moyenne de 160 places (planche 3, ci-après). Le transport de frets vivriers est assuré par de grandes embarcations à moteur, pouvant contenir plusieurs tonnes de marchandises.

**Planche 3:**Vedettes accostées au port fluvial de Lambaréné (A) et transport de grumes sur le fleuve Ogooué (B)

Crédit photos : David Stanley 2018 et Gabon Review, 2012

### 3.2.2. Les activités paysannes

#### a. La pêche

La pêche constitue la première activité pour la grande majorité de la population du site drainé par les deux plus grands cours d'eau du Gabon, l'Ogooué et la Ngounié, et de nombreux lacs riches en espèces halieutiques.

Depuis la construction du Centre d'Appui à la Pêche Artisanale de Lambaréné (CCPAL) en 2004, cette activité connaît un dynamisme notable. Malgré tout, l'activité de pêche reste artisanale dans la zone humide du Bas Ogooué où elle se pratique sur les lacs du Nord et du Sud, l'Ogooué et ses affluents.

Ceux ayant des embarcations avec des moteurs pêchent assez loin de leurs villages. En saison sèche, les prises journalières peuvent être très importantes et beaucoup moins en saison des pluies. Des phénomènes de pollution des eaux sont également apparus avec l'installation des entreprises pétrolières, aux dires des villageois. La ressource halieutique reste menacée ; même si dans certains lacs des zones de repos biologique sont définies de manière participative par les populations, sous l'encadrement des services de la Pêche et les associations locales.

La gamme d'engins de pêche est très large, les plus utilisés étant les seines, les filets maillants, les filets dormants, les filets fixes et les lignes. Pour effrayer le poisson et l'amener à aller vers les filets, les pêcheurs font ronfler leurs moteurs hors-bords (manœuvre appelée « *roca* »), ou utilisent des morceaux de bois qu'ils tapent vigoureusement sur l'eau (manœuvre appelée « *tabou* »).

Les principales espèces recherchées sont les carpes (*Oreochromis sp* et *Tilapia sp*) et le poisson « sans-nom » (*Heterotis niloticus*). Cette dernière espèce, d'origine soudanienne a été introduite au Gabon, dans la région de Lambaréné, vers 1959, en provenance du Cameroun (Mbadu, 1985 ; Mengue M'edou C. et *al*, 2008). Les populations de la zone évoquent toutes des baisses de production qu'elles attribuent à plusieurs facteurs : pression accrue sur les ressources et aux techniques d'exploitation inadaptées.

#### b. Les cultures vivrières

L'agriculture pratiquée par les populations du site est essentiellement vivrière, familiale et de subsistance. Les principales cultures sont le manioc (*Manihot esculenta*),

l'igname (*Dioscorea sp.*) et, en très grande quantité, la banane plantain (*Musa paradisiaca*) : le manioc et la banane plantain sont les produits les plus vendus.

L'agriculture ne constitue qu'une source secondaire de revenus, après la pêche pour les populations de la zone humide du Bas Ogooué, notamment pour les femmes. Il est difficile d'estimer le nombre de ménages agricoles de la zone humide du site étudié car les données disponibles portent sur toute la province du Moyen-Ogooué. Ainsi, les 7014 ménages agricoles estimés représentent environ 6,6 % des ménages de la province (DGEPN & ANPN, 2020).

Les populations pratiquent une agriculture sur brûlis essentiellement au moyen d'outils non mécanisés (machette, houe, hache). Les superficies des plantations sont très réduites, de l'ordre de 300 à 500 $m^2$ par parcelle et les populations qui les exploitent n'ont pas recours à l'utilisation d'engrais. Ces populations qui, autrefois, pratiquaient la jachère d'une durée de quatre à huit ans ont aujourd'hui raccourci à quatre ans en moyenne cette période de repos.

Cette agriculture est caractérisée par de faibles productions et limitée par l'enclavement des Cantons Lacs du nord et du sud où se trouve logée, en grande partie, la zone humide du Bas Ogooué. Dans cette partie de la zone d'étude, il a été signalé des conflits homme-faune, avec notamment les dégâts causés par des éléphants qui contribuent à la baisse du niveau de production agricole impactant ainsi le niveau de vie des populations affectées par ce phénomène (planche 4, ci-après).

**Planche 4 : Signe de passage d'un éléphant au village Aschouka : vue d'une empreinte (photo A) et d'une crotte (photo B)**
**Crédit photo : Fern MBOUMBOU MAKANGA, 2020**

On note, également, le développement d'une agriculture à forte utilisation d'engrais pratiquée par les communautés ouest-africaines, notamment ghanéenne et burkinabè, qui cultivent le piment, l'aubergine, la tomate, l'oseille et l'amarante (photo 1 , ci-après).

**Photo 1: Un jardin en périphérie de Lambaréné**
**Crédit photo : Fern MBOUMBOU MAKANGA, 2021**

### c. La chasse

La chasse est largement pratiquée puisqu'elle constitue, en milieu rural, une des sources principales de revenus des hommes. Toutefois, elle est inégalement pratiquée, selon le site de la zone humide. Dans certains lacs du Nord, notamment dans le village Gomé Dakar, la chasse est généralement pratiquée pour la subsistance dans un rayon de 3 km. En revanche, dans les autres sites, la chasse est, largement et régulièrement, pratiquée pour la vente et la consommation familiale. La demande en viande de brousse ne cesse de croître, car les populations urbaines en sont friandes, ce qui encourage le braconnage.

Sur l'ensemble de la zone d'étude, la chasse se pratique toute l'année et les chasseurs pratiquent deux types de chasse : la chasse au fusil et les pièges. Les pièges sont posés aux alentours des plantations, non loin du village, pour le petit gibier : porc-épic, hérisson, gazelle, etc. La chasse au fusil se pratique en forêt, partout autour du village, parfois très loin à plusieurs dizaines de kilomètres que le chasseur effectue à pied. Les abords des cours d'eau sont particulièrement favorables, car les animaux s'y abreuvent. Les espèces les plus capturées sont : le porc-épic, le céphalophe, l'antilope, le potamochère

et le crocodile (dans les lacs et l'Ogooué).

En saison des pluies, le lamantin est abondamment chassé, malgré son statut d'espèce intégralement protégée. L'éléphant est, quant à lui, chassé pour son ivoire qui fait l'objet d'un trafic important dans le site. La chasse surtout informelle (sans permis de chasse ou autorisation de port d'armes) s'effectue sans connaître et/ ou respecter la réglementation en vigueur. La chasse informelle se solde parfois par l'interpellation des contrevenants par des agents des Eaux et Forêt (photo 2).

**Photo 2: Saisie de gibiers effectuée par les écogardes du site Ramsar**
**Crédit photo : Nicaise MAPANGOU, 2019**

### d. Cueillette et arboriculture

Les ménages de la zone humide du Bas Ogooué utilisent d'innombrables espèces de plantes à divers usages. Certaines essences forestières sont épargnées lors des abattages pour leurs usages dans la vie quotidienne des ménages. Les usages de plantes vont de la pharmacopée à l'alimentation, en passant une utilisation dans les pratiques rituelles.

La cueillette est exercée par l'ensemble des membres du ménage. Cette activité est pratiquée pendant la saison sèche et la petite saison des pluies, pour certains fruits (mandarines, oranges, pamplemousses, citrons). La cueillette se fait dans les forêts autour du village, parfois jusque dans les îles qui parsèment la zone des différents lacs. Signalons aussi que les chenilles et les champignons sont consommés surtout pendant la grande saison sèche.

## 3.3. La présence des entités de la conservation

### 3.3.1. La tutelle en matière de conservation

Actuellement, le Site Ramsar du Bas Ogooué ne bénéficie d'aucune assise légale, en dehors de celle que lui confère la convention. L'inscription de cette zone comme site Ramsar peut être considérée comme l'expression d'une « politique de gestion souhaitée ». Mais, l'approche envisagée n'est pas encore celle d'un classement total ou partiel en aire protégée, comme pour les autres sites bénéficiant aussi du statut de parc national. Rappelons ici que le statut d'aire protégée, quel qu'il soit (parc national, réserve de faune, sanctuaire, etc.) conférerait au Site Ramsar du Bas Ogooué un cadre juridique plus fort. On constate donc qu'en raison de l'absence d'un statut clairement défini, les activités qui se déroulent dans le Site Ramsar du Bas Ogooué ne sont assujetties, en réalité, à aucun règlement intérieur propre et adapté.

Au Gabon, la seule administration référente pour la classification et la gestion des sites Ramsar est la Direction Générale de l'Environnement et de la Protection de la Nature (DGEPN), actuellement placée au sein du Ministère en charge des forêts. Cette Direction Générale est considérée comme le point focal pour le Gouvernement du Gabon sur ce thème. Mais, elle n'a aucune capacité de gestion déconcentrée dans l'intérieur du pays. Comme cela est montré dans la figure 1 plus haut, 7 des neufs sites Ramsar classés au Gabon sont complètement ou partiellement intégrés dans des parcs nationaux, ou leurs zones tampons, pour lesquels l'autorité de gestion est principalement l'Agence Nationale des Parcs Nationaux (ANPN). Le site Ramsar du Bas Ogooué est le seul site isolé jouissant de la gestion de l'ANPN représentée par un Gestionnaire.

Au Gabon, le fonctionnement administratif de la Convention de Ramsar est assuré par :

- **une autorité administrative** qui est la DGEPN. Elle est notamment responsable de la désignation des zones humides pour la Liste de Ramsar, de l'organisation de la gestion appropriée de ces sites et de la mise en œuvre d'une politique nationale pour les zones humides ;
- **un correspondant national ou contact quotidien (Point Focal National)**, désigné par l'autorité administrative. Il assure notamment la liaison régulière avec le Secrétariat de la Convention et coordonne la mise en œuvre de la Convention au niveau national ;

- **un correspondant national du Groupe d'Évaluation Scientifique et Technique** (GEST), qui est le Directeur de l'Institut de Recherche en Sciences Humaines (IRSH) du Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CENAREST). Cet expert technique, reconnu et motivé dans le domaine des zones humides travaille en liaison avec des homologues des autres parties contractantes ;
- **deux points focaux pour la Communication**, **l'Education et la Sensibilisation du Public** (CESP). Ils proviennent pour l'un de l'autorité administrative Ramsar et pour l'autre d'une ONG nationale. Ensemble, ils dirigent, au niveau national, le développement et la mise en œuvre de programmes nationaux de la CESP ;
- **la Direction Générale des Ecosystèmes Aquatiques** (DGEA), entité administrative chargée de mettre en œuvre la politique du Gouvernement en matière de gestion durable des Ecosystèmes Aquatiques, est chargée, d'une part, de planifier et de suivre et, d'autre part, évaluer les activités du plan de gestion, en collaboration avec les parties prenantes ;
- sur le terrain, **l'Agence Nationale des Parcs Nationaux** (ANPN) est l'entité de gestion administrative et technique désignée dont les rôles et responsabilités sont clairement établies.

### 3.3.2. Cadre législatif et mode de gestion

Pour une meilleure gestion de ses ressources naturelles, le Gabon a signé et ratifié plusieurs conventions internationales dont celles : de Ramsar (1971), sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages menacées d'extinction (CITES ; Washington, 1973), sur la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage (Bonn, 1979), celle « relative à la coopération en matière de protection et de mise en valeur du milieu marin et des zones côtières de la région de l'Afrique de l'Ouest et du Centre »(Abidjan, 1981), de Rio de Janeiro en 1992 (sur la diversité biologique, CDB; sur les changements climatiques, CCNUCC; sur la lutte contre la désertification, CNULD), etc.

Au niveau national ; un certain nombre de dispositions législatives et règlementaires ont déjà été prises pour assurer la pérennité des ressources naturelles et des écosystèmes. Compte tenu de l'hétérogénéité spatiale du site, une multitude d'instruments est mise en application pour sa gestion effective. Il s'agit essentiellement de :

- la loi n° 10/63 du 12 janvier 1963 portant Code de la marine marchande ;
- la loi n°16/2001 du 31décembre 2001 portant Code Forestier en République Gabonaise ;
- le décret n°542/PR/MEFEPEPN du 15 juillet 2005 réglementant le déversement de certains produits dans les eaux superficielles souterraines et marines ;
- la loi n°15/2005 du 8 août 2005 portant Code des pêches et de l'aquaculture en République Gabonaise ;
- la loi n°022/2008 du 10 décembre 2008 portant Code Agricole en République Gabonaise ;
- la loi n°7/2012 FIXANT LES règles générales relatives à l'urbanisme en République Gabonaise ;
- la loi n°007/2014 du 1er août 2014 relative à la protection de l'environnement ;
- la loi n°002/2014 du 1er août 2014 portant orientation du développement durable en République Gabonaise ;
- le décret 0579/PR/MPE du 30 novembre 2015 fixant les modalités et conditions d'exercice de la pêche au Gabon ;
- l'ordonnance 002/PR2017 du 27 février 2017 portant orientation de l'urbanisme en République Gabonaise ;
- la loi n°002/2019 du 16 juillet 2019 portant réglementation du secteur des hydrocarbures en République Gabonaise ;
- la loi n°006/2020 du 30 juin 2020 portant code pénal en République Gabonaise .

### 3.3.3. Mesures de conservation et priorités de gestion

Plusieurs activités sont menées par l'unité de gestion du site Ramsar, en tête de laquelle le Gestionnaire du Bas Ogooué. Ces activités concernent la surveillance, le contrôle, la sensibilisation et le suivi. Les principales mesures sont celles relatives à l'ébauche d'un plan de gestion réalisée en 2020, dont la question du zonage abordée dans ce travail a constitué l'une des activités.

Pour une visée quinquennale (2021-2025), l'élaboration du plan de gestion s'est s'appuyée sur Le Manuel Ramsar pour l'utilisation rationnelle des zones humides et l'article 3.1 du texte de la convention de Ramsar, qui stipule que : « Les Parties contractantes élaborent et appliquent leurs plans d'aménagement de façon à favoriser la

conservation des zones humides inscrites sur la Liste et, autant que possible, l'utilisation rationnelle des zones humides de leur territoire ».

Les organismes d'étude et de recherche ont procédé, dans un premier temps, à un examen exhaustif des données existantes afin de définir un nombre limité de nouvelles études prioritaires. Une grande importance a été accordée à la définition du système de suivi des paramètres écologiques et socioéconomiques du Site Ramsar du Bas Ogooué, de manière à ce que le volet étude/recherche appliquée apporte un appui indispensable aux décisions de gestion. La synergie entre recherche et gestion est indispensable, et constitue même l'un des fondements essentiels du principe des Sites Ramsar.

D'une manière générale, les organismes d'étude et de recherche avaient le mandat suivant :

- faire le bilan des données existantes ;
- identifier la population existante et donner les tendances ;
- identifier les espèces disparues, menacées, en voie d'extinction, celles restées stables, nouvelles ou envahissantes ;
- décrire les conditions de l'habitat dans le Site Ramsar du Bas Ogooué;
- identifier et classer les unités écologiques selon leur sensibilité et leur importance pour la conservation ;
- identifier et classer les contraintes et menaces ;
- proposer un plan de gestion de la faune comprenant un système de suivi, des axes de recherche scientifique, des mesures de conservation des unités écologiques, un plan d'aménagement pour le maintien de l'importance biologique du Site Ramsar du Bas Ogooué.

L'ensemble de ces informations constitue une base de données d'information sur l'environnement du site. Elles permettant de produire des documents indispensables pour préparer le zonage, et rédiger un plan de gestion intégrée axé sur la conservation des ressources biologiques dans le respect des principes de gestion d'un Site Ramsar. Au sortir de ces analyses, les mesures de gestion devront être basées sur la protection des différents écosystèmes du Bas Ogooué, à savoir :

- la préservation de la qualité de l'eau ;

- ❖ la maîtrise du système de crues saisonnières ;
- ❖ la régulation de la chasse et l'aménagement des pêcheries, et éventuellement l'adaptation de la législation, en incluant des espèces menacées qui ne sont actuellement pas protégées par la loi ;
- ❖ la création des zones de conservation où toute chasse et toute pêche sont bannies, afin d'assurer la reproduction des groupes d'animaux.

Ce dernier point nécessite de maîtriser les connaissances des zones humides, afin de pouvoir les délimiter. La prise en compte de la répartition et de la qualité des éléments biotiques et abiotiques permettra d'affiner l'étude des fonctionnalités et du zonage.

Le site Ramsar du Bas Ogooué s'étend sur deux provinces, avec des proportions inégales. En effet, il est majoritairement adossé à la province du Moyen-Ogooué comparé à celle de l'Ogooué-Maritime qui ne détient que 25% de la superficie totale du site. Il renferme une population de 60 809 habitants, répartis majoritairement, dans les villes de Lambaréné et Ndjolé. Il compte environ 166 villages répartis entre 10 cantons.

Le cadre institutionnel fait intervenir différents pouvoirs à différentes échelles, dont la plus haute est celle du Gouverneur, qui incarne l'Exécutif. Il est l'administrateur de la Province. Le département, quant à lui, est sous l'autorité d'un Préfet qui est aidé par des Sous-Préfets, des Chefs de cantons, de regroupement et des villages. D'autres chefs coutumiers existent, mais ils ne sont pas reconnus par l'Administration. A côté de ces enchevêtrements du pouvoir exécutif, le Président du Conseil Départemental et ses adjoints représentent les collectivités territoriales et les Maires détiennent la gestion des villes où ils ont été élus.

Le Moyen-Ogooué est la province pionnière de l'activité agro-industrielle au Gabon, avec la palmeraie de Makouké. Néanmoins le site est recouvert, majoritairement, de concessions forestières qui bordent la quasi-totalité des limites du Sites d'étude. D'autres activités industrielles sont également présentes, comme l'exploitation minière, l'exploitation pétrolière et le transport fluvial.

Outre les activités industrielles, certaines activités artisanales sont également pratiquées, en tête desquelles la pêche pratiquée dans tous les cours d'eau, en toute saison

de l'année. Nous avons également des activités d'agriculture, de chasse, de cueillette et d'arboriculture. Ces activités sont parfois, tantôt pratiquées, en dehors du droit coutumier, tantôt de façon illégale. Pour cette raison, l'ANPN, qui a la gestion du site, est le garant de l'application des différentes lois en matière de protection de l'environnement et de l'intégrité du site.

## Conclusion

Le vocable « zone humide » voit le jour dans les années 60, sous la préoccupation des ornithologues face aux transformations ou à la dégradation des zones humides pour répondre aux besoins industriels et urbanistiques. C'est à la lumière de l'importance dévoilée de ces espaces que naîtra la Convention de Ramsar de 1971.

Pourtant, entre 1970 et 2015, on estime que le rythme de disparition s'est accéléré depuis les années 2000. Outre les changements climatiques, ces disparitions sont liées à l'évolution des modèles de consommation, responsables des changements intervenus dans l'utilisation des terres et de l'eau et dans l'agriculture (UNFCCC, 2018,).

Tout porte à croire que les avantages offerts par les zones humides restent encore méconnus. Ce constat est, d'autant plus paradoxale, vu qu'on estime que plus d'un milliard de moyens de subsistance dans le monde sont entièrement ou largement dépendantes des zones humides (Ramsar 2011). Par ailleurs, 40% des espèces animales sont dépendantes d'elles.

Aujourd'hui, la méconnaissance de l'étendue et des types de milieux humides est au cœur des contraintes liées à leur conservation et à leur gestion durable. Au cours des dernières années, de plus en plus de gestionnaires ont recours à un outil cartographique précis pour la délimitation et l'inventaire de ces milieux. Au-delà de l'inventaire et la caractérisation des zones humides, trop simplificateur, il est important aujourd'hui de pouvoir mener une évaluation de leurs fonctions écologiques pour pouvoir décider des actions adaptées.

Il existe une abondance de techniques d'évaluation de fonctions écologiques des écosystèmes (Adamus et al., 1987 ; Sutula et al., 2006 ; Rapinel, 2012). Cependant, d'après plusieurs examens des différentes méthodes, il en ressort qu'aucune méthode ne convient parfaitement à toutes les régions géographiques (Fénessy et al., 2007). Ainsi, il convient d'adopter une démarche progressive, qui prend en compte le facteur spatio-temporel (Rapinel, 2012).

Différentes méthodes de cartographie existent pour caractériser au mieux les éléments constitutifs de ces milieux. Aujourd'hui la cartographie numérique est le principal outil de modélisation de ces milieu et l'ensemble de ces méthodes se regroupent au sein de la géomatique ». Si pendant longtemps, la plupart des intrants cartographique pour la modélisation n'ont pas intégré la variabilité temporelle interannuelle ou pluriannuelle, les données de télédétection se posent, désormais, comme une solution à cette limite.

# DEUXIEME PARTIE : ETUDE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE ET DELIMITATION DES ZONES HUMIDES DU SITE RAMSAR BAS-OGOOUE

L'étude des zones humides permettant leur évaluation fonctionnelle demande de mettre en place une méthodologie spécifique et efficace, pour parvenir à repérer les différentes formations rocheuses et végétales qui constituent les sols dans lesquelles elles se trouvent. Les outils de la télédétection ont servi à avoir des images en haute résolution pour aboutir à la mise à jour du réseau hydrographique et des plans d'eau.

Ces outils ont aussi permis d'établir une carte d'occupation du sol pour, d'une part, mieux appréhender la composition spatiale des écosystèmes du site et, d'autre part, quantifier les différents types d'occupation du sol et faire des analyses croisées avec le réseau hydrographique.

Les méthodes utilisée dans cette partie ont fait leurs preuves, dans la mesure où les résultats ont permis de délimiter les zones humides à un niveau de confiance proche de la réalité. Elles ont également permis de disposer d'un réseau hydrographique à jour à l'échelle 1/10 000ème.

Elle se repartie ainsi sur trois chapitres : le premier traite de la mise à jour du réseau hydrologique linéaire et son analyse dans l'environnement ; le deuxième fait intervenir la carte d'occupation du sol pour faire ressortir les entités hydrographique de surface ; Le dernier recoupent l'ensemble de ces informations afin de créer un masque de zones humide. Ce dernier fera l'objet d'un zonage par unité hydrogéomorphologique pour préparer l'étude des fonctions.

# CHAPITRE 4 : DETECTION DES COURS D'EAU DANS LE SITE RAMSAR DU BAS OGOOUE

La deuxième partie de notre travail est axée sur l'inventaire et la délimitation des zones humides du site Ramsar du Bas Ogooué. Ce chapitre, en particulier, s'intéresse aux linéaments dont l'ensemble représentera un premier niveau du réseau hydrographique avec le détail des sources et des ruisseaux.

Le réseau hydrographique, qui comprend les cours d'eau ainsi que l'ensemble des fossés (ou vallées/bassins versans), conditionne l'hydrodynamique de la zone humide. Sa cartographie, détaillée et exhaustive, est nécessaire à la bonne compréhension de son fonctionnement. Si les grands cours d'eau sont déjà généralement cartographiés dans la plupart des régions du monde, ce n'est pas toujours le cas des petits cours d'eau, et encore moins du réseau de drainage et d'irrigation. Or, ce réseau, dont la densité et l'état évoluent en fonction des activités anthropiques, joue un rôle primordial dans l'hydrodynamique des zones humides.

L'approche se base sur la correction d'un modèle numérique de surface de haute résolution, à partir d'une donnée vectrice du réseau hydrographique fournit par l'Institut National de Cartographie (INC). L'objectif de ce chapitre est de produire un réseau hydrographique dense au 10 000$^{ème}$. Il comprend trois points, notamment : la méthodologie de construction du réseau hydrographique, la présentation des résultats obtenus et l'interprétation de ces derniers.

## 4.1. Matériel et méthodes

### 4.1.1. Outils et matériel

La mise à jour des cours d'eau du Bas Ogooué prend en compte diverses sources (tableau 7, ci-après). La première est celle du réseau hydrographique de l'Institut National de Cartographie. Ce réseau a été rectifié à partir des images Sentinel 2 couvrant l'ensemble du site. Cette donnée rectifiée a permis, à partir de l'image SRTM, de générer un réseau hydrographique plus dense et hiérarchisé.

Le logiciel ArcGis 10.5, principalement à travers les outils d'analyses spatiales, a été plébiscité pour la réalisation de ce travail. Sur le terrain la collecte et la validation des

données des cours d'eau ont été effectuées à l'aide du GPS Map 64 et de l'application mobile Locus MAP version 4.12.1.

**Tableau 7: Outils et matériels utilisés pour la mise à jour du réseau hydrographique du site Ramsar du Bas Ogooué**

| Id | Noms | Format | Date de sortie |
|---|---|---|---|
| **Réseau hydrographique** | Hydro_Gab_V4 | Shapefile | |
| **MNT** | Image TanDEM-X | Tif | |
| **Image Sentinel 2** | L1C_T32MPB_A002993_20160118T094807 | JP2 | 18/01/2016 |
| | L1C_T32MNC_A009285_20170402T095107 | JP2 | 02/04/2017 |
| | L1C_T32MPB_A009285_20170402T095107 | JP2 | 02/04/2017 |
| | L1C_T32MPB_A018394_20181230T093440 | JP2 | 30/12/2018 |
| | L1C_T32MNC_A024872_20200327T094311 | JP2 | 27/03/2020 |
| | L1C_T32MPC_A024872_20200327T094311 | JP2 | 27/03/2020 |
| | L1C_T32MPB_A025301_20200426T094342 | JP2 | 26/04/2020 |
| **Logiciel de traitement** | ArcGis 10.8 | | |
| **Logiciel de navigation** | Locus Map® | | |
| **Matériel de collecte** | GPSMAP Garmin 64 | | |

### 4.1.2. Préparation d'un Modèle Numérique de Terrain corrigé pour l'hydrologie

#### *4.1.2.1. Correction des dômes*

L'image TanDEM X, comme tout Modèle Numérique de Terrain, est une représentation des élévations d'un territoire. Chaque pixel contient une valeur d'élévation plus ou moins proche de l'exacte réalité.

Au-delà d'une simple visualisation des élévations en 2D ou 3D du territoire, un modèle numérique de terrain destiné à l'analyse hydrologique doit être utilisé avec des précautions particulières. En effet, si on souhaite modéliser l'écoulement de l'eau sur la surface d'un territoire donné, la première chose à faire, et la plus importante est de la

corriger et de l'adapter à cet objectif. En effet, les hauteurs acquises ne correspondent pas toujours au niveau du sol, mais souvent à la couche supérieure de la végétation. Une forêt avec des arbres d'une hauteur moyenne sera déterminée avec ce delta d'élévation. En réalité, il s'agit plus d'un modèle numérique de surface (MNS), plutôt que d'un MNT.

Sur la figure 23, ci-après, tout à fait théorique, le MNS de base est représenté par le trait rouge, tandis que le niveau qu'il devrait avoir pour correspondre à la réalité est indiqué par le trait bleu. Si nous gardons ces dômes, ils modifieront artificiellement les écoulements de l'eau, surtout sur des zones plates ou à faible pente. Il faut donc commencer par écrêter les dômes, en utilisant la calculatrice raster et la commande remplissage de cuvette « *Fill* » de l'outil « *hydrology* » de « *Spatial Analyst* ».

**Figure 23: Différenciation entre un MNS et un MNT**

Ces commandes vont permettre d'enlever les dômes, qui sont en définitive des cuvettes inversées, en trois étapes.

La première étape consistera à inverser le MNS, de manière à ce que les dômes deviennent des cuvettes. Pour obtenir ceci, il suffit de prendre la valeur maximale du MNS et lui ajouter 25%. Ainsi est inversé le MNS, en soustrayant les 25 % de la valeur maximale à chaque cellule du MNS. Le résultat en sortie laisse apparaître le constat suivant : les zones basses (en noire) sont devenues les zones hautes (en blanc) et vice-versa (planche 5 ci-après).

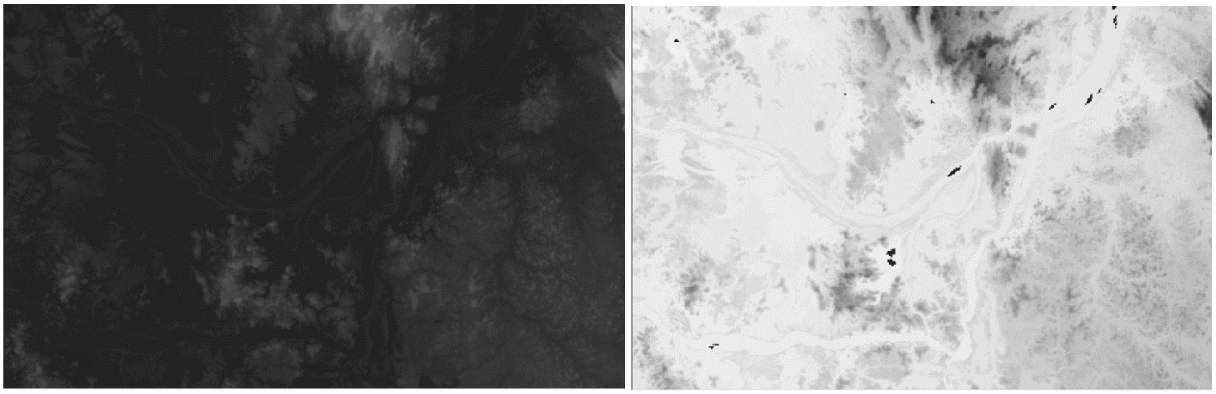


**Planche 5: MNS original (photo A) et MNS inversé (photo B)**

La deuxième étape consiste à appliquer la commande de remplissage des cuvettes de l'outil « *Hydrology* » pour combler les dômes inversés devenus cuvettes. Ce raster présente un MNS sans les dômes qui ont été remplis. Mais il est toujours inversé.

Enfin, la troisième étape consiste à retourner le MNS à l'endroit avec la calculatrice raster. En soustrayant toujours les 25% de la valeur maximale au MNS inversé et dont les cuvettes ont été remplies. Le résultat est notre nouveau MNS, sans dômes, et à l'endroit.

Jusque-là, seuls les dômes ont été pris en compte, mais pas les véritables cuvettes toujours présentes dans le MNT. Donc la correction du MNS va être poursuivie, en imprimant le réseau hydrographique sur le MNS.

#### *4.1.2.2. Le reconditionnement du MNS*

Il est vrai que le MNT peut être utilisé pour calculer les cours d'eau. Néanmoins, la disponibilité d'une couche vectorielle des cours d'eau permet de corriger les cellules proches de ceux-ci. Les corrections comprennent le biais de pente introduit par la végétation des rives ; mais elles assurent aussi que le point le plus bas des deux berges se retrouve sur la cellule correspondante au cours d'eau.

Cette « impression du réseau hydrographique » sur le MNS est appelée le reconditionnement. Celui-ci est un processus d'ajustement du MNS, de sorte que les élévations dirigent le drainage vers les informations vectorielles sur la position du cours d'eau. Le reconditionnement n'est suggéré que lorsque les informations du flux vectoriel sont plus fiables que les informations du MNS, d'où la nécessité de le corriger avec une

image haute résolution. Le reconditionnement, tel qu'il est effectué dans ce travail, implique une séquence de fonctions de géotraitement ArcGIS.

La stratégie consiste à convertir les entités de flux vectoriels en un jeu de données raster de cellules de grille sur les flux qui a exactement les mêmes dimensions (lignes, colonnes, taille de cellule) que le MNS. Cela vous expose à un certain nombre de nouveaux outils de géotraitement (« *Stream to raster* », « *Greater than* », « *Reclassiy* »), ainsi qu'aux paramètres d'environnement pour contrôler la taille, l'étendue et la capture des cellules raster.

La distance euclidienne de chaque cellule de la grille au flux le plus proche est calculée, et une expression d'algèbre cartographique est utilisée pour effectuer le reconditionnement. Celui-ci implique de réduire l'élévation de toutes les cellules de la grille le long des flux de 20 unités, et des cellules de la grille près des flux d'une valeur qui se rétrécit de 10 à 0 unités en fonction de la distance de 0 à 500 unités.

« MNS" - 10 * « *reclass*" - 0.02(500 - "distance") * ("distance" < 500)

MNS : Modèle Numérique de Surface, *reclass* pour le réseau hydrographique reclassifié, distance : distance euclidienne

#### *4.1.2.3. Remplissage des cuvettes*

La dernière étape pour obtenir un MNS hydrologiquement correct est de remplir les cuvettes du nouveau MNS acquis au cours des différentes étapes du prétraitement. Les cuvettes sont des zones entourées par des cellules plus hautes qui, entre autres aspects, bloquent les directions d'écoulement.

Pour remplir les cuvettes, nous avons utilisé la commande « *Fill sinks* » se trouvant dans la boîte à outil « *Hydrology* ». Le résultat est un MNT Hydrologiquement correct (figure 24, ci-après). Ce MNT est utilisé pour les différents calculs possibles sur le réseau hydrographique d'un territoire.

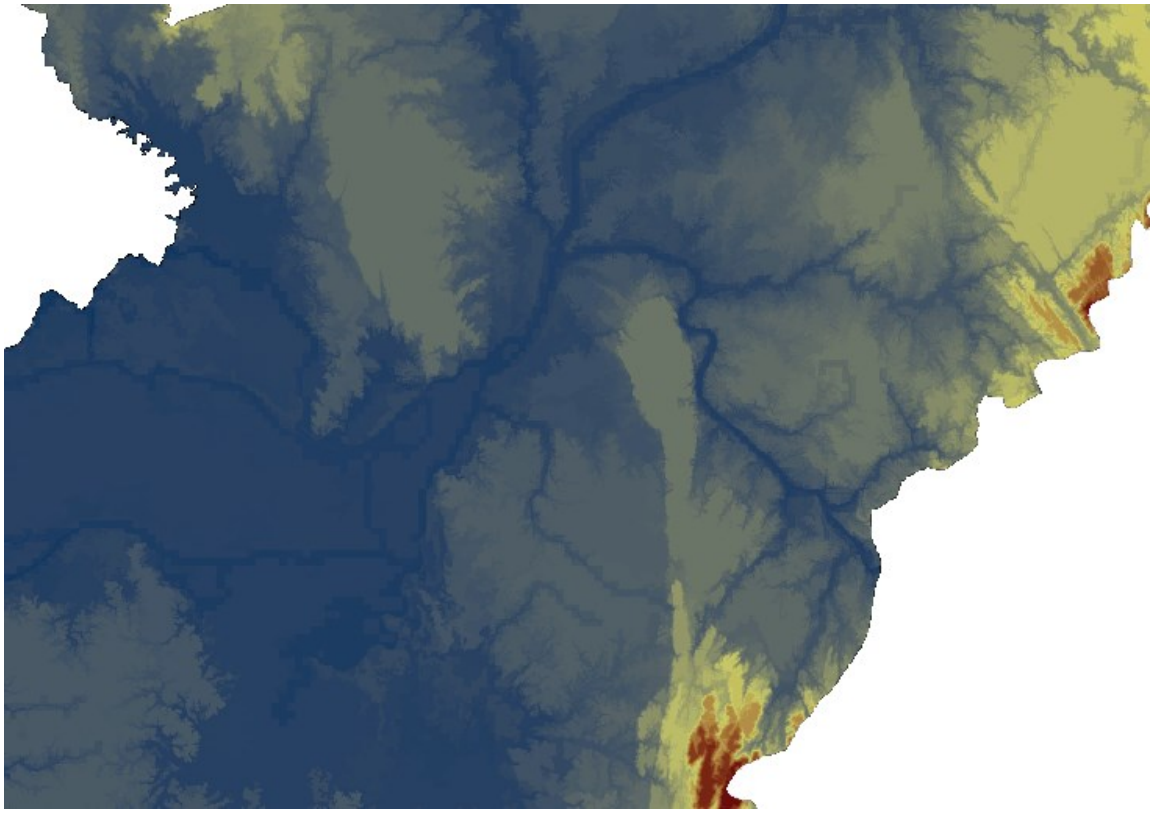


**Figure 24 : Un MNS hydrologiquement correct aux allures lissées avec la commande « Fill »**

### 4.1.3. L'analyse hydrologique

#### *4.1.3.1. Détermination de la direction d'écoulement*

Chaque cellule du MNS est entourée par huit autres cellules. Le principe de la commande « *Flow Direction* » est d'établir vers quelle cellule s'écoule l'eau, à partir de la cellule centrale. Pour cela, il calcule la pente entre la cellule centrale et les 8 cellules environnantes. Il considère que l'eau s'écoule vers la cellule qui a la pente la plus forte, bien que cette hypothèse, bien évidemment, n'est pas universelle. D'autres algorithmes (non disponibles avec ArcGis) considèrent que, bien qu'il y ait un écoulement plus important vers la cellule ayant la plus forte pente, il y aura un écoulement vers toutes les cellules plus basses que la cellule centrale.

Pour suivre le processus, nous avons utilisé le MNS reconditionné avec les cuvettes remplies. Pour calculer la direction d'écoulement, la commande « Flow direction » de l'outil d'analyse spatiale est mise à contribution. Le résultat montre les différentes directions d'écoulement calculées à partir du MNT (figure 25, ci-après).

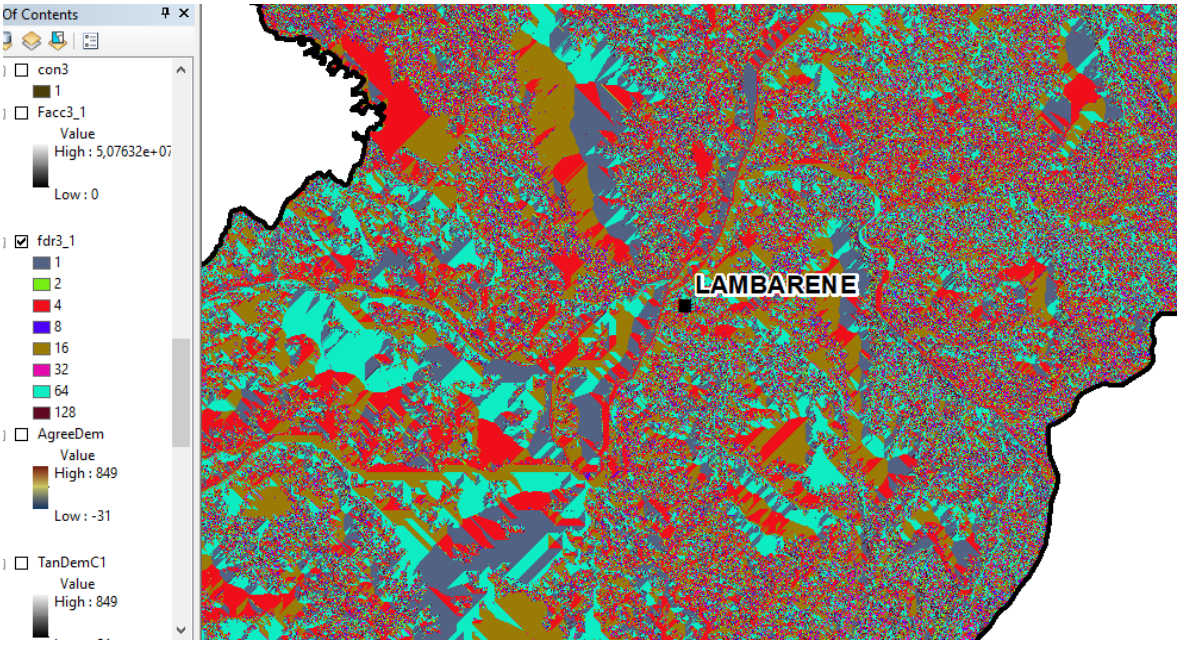
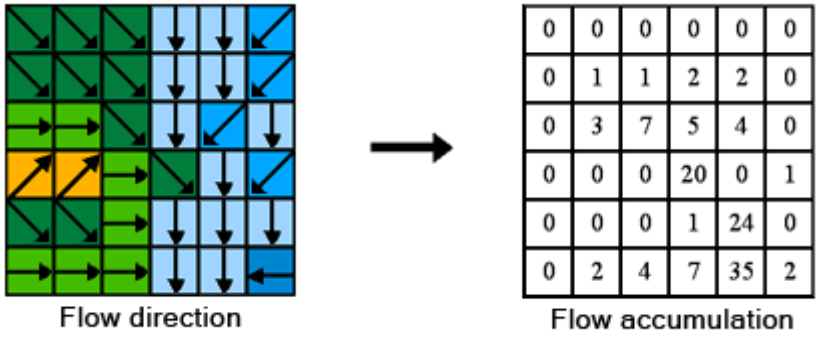



**Figure 25: Résultat de la commande "*Flow direction*"**

### *4.1.3.2. Détermination de l'accumulation d'écoulement*

La deuxième étape consiste à calculer combien de cellules s'écoulent, en amont, vers chacune des cellules du MNT. Quand aucune cellule ne s'écoule vers la cellule considérée, la valeur est de 0. Quand plusieurs cellules s'écoulent vers la cellule considérée, la valeur est égale à la somme de valeurs d'écoulement de ces cellules (figue 26, ci-après).




| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 |
| 0 | 3 | 7 | 5 | 4 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 20 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 24 | 0 |
| 0 | 2 | 4 | 7 | 35 | 2 |

**Figure 26: La direction et l'accumulation de l'écoulement**

Pour calculer la direction de l'écoulement, la commande « Flow accumulation » est utilisée, toujours dans l'outil « *hydrology* » de « *Spatial Analyst* ». Généralement, le résultat est un raster montrant la grande zone d'accumulation (figure 27, ci-après).

**Figure 27: Résultat de la commande "Flow accumulation"**

### *4.1.3.3. Détermination du réseau d'écoulement*

Néanmoins, le réseau d'écoulement n'est pas le réseau hydrographique. Ce réseau a été construit seulement à partir d'un seuil d'accumulation de 150. Ceci revient à dire que dès lors où l'accumulation atteint 150 cellules, on considère que nous sommes en présence d'un tronçon de notre réseau hydrographique.

La définition du seuil ne répond à aucune règle absolue. Il dépend de l'objectif de l'étude, de la taille de la zone d'étude, du type de terrain, etc. Plus le seuil est grand, moins le réseau hydrographique est dense. Pour calculer le réseau d'écoulement, il est utilisé la commande « *con* » de l'outil « *conditional* ». Le résultat de la commande est un raster mettant en évidence les tronçons d'écoulement (figure 28, ci-après).

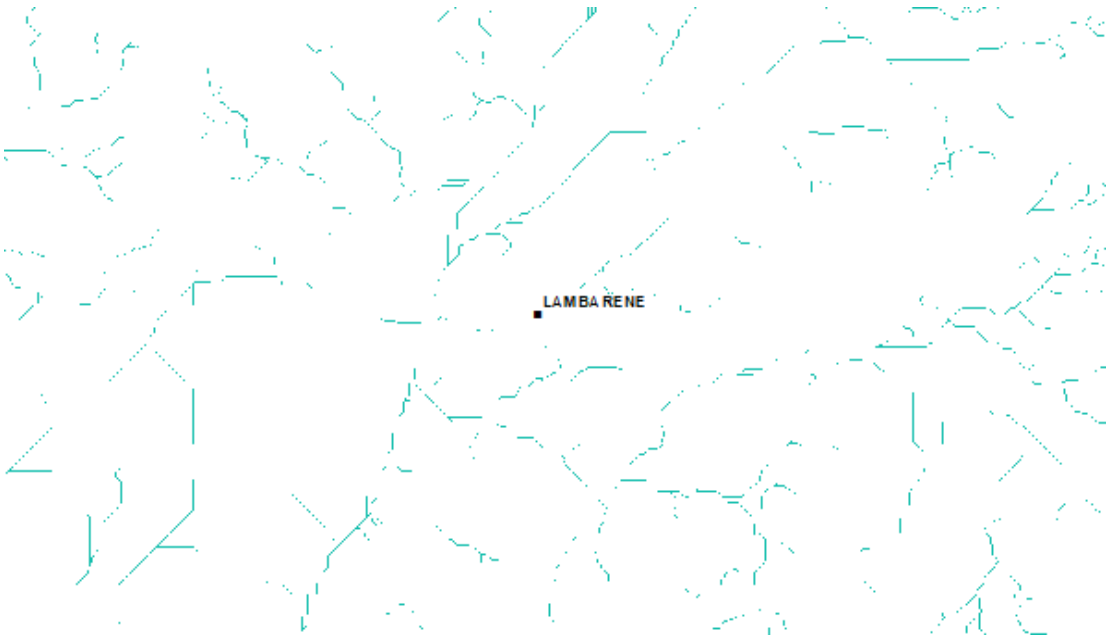



**Figure 28: Résultat de la commande "*Con*"**

### *4.1.3.4. Segmentation du réseau d'écoulement*

En rappel, le travail est fait en mode raster. Chaque pixel (cellule) peut contenir une ou plusieurs valeurs, mais elles sont toutes « indépendantes ». Contrairement au réseau hydrographique de type vecteur, où ont été identifiés des tronçons, ici rien ne permet de dire que deux pixels, mêmes contigus, appartiennent à un même tronçon hydrographique.

L'étape de segmentation à venir répond à ce besoin : la commande va chercher les pixels contigus entre deux nœuds hydrographiques. Les nœuds considérés sont : les sources, les jonctions, les exutoires (figure 29, ci-après). Les pixels contigus entre deux nœuds auront le même identifiant de tronçon. Et chaque tronçon sera numéroté différemment.

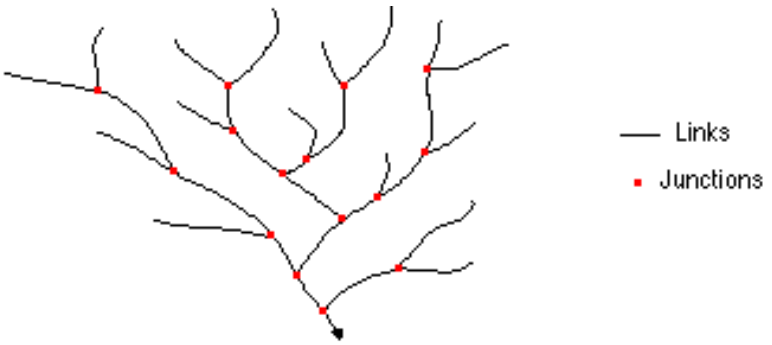



**Figure 29: Schéma des liens dans un réseau d'écoulement**

La création de ce réseau provient de la commande « *Stream Link* ». Visuellement, le raster résultant est identique au précédent. Pour voir la différence vous pouvez changer la symbologie en « Valeurs uniques ». Alors les pixels appartenant à chaque tronçon sont vus avec la même couleur. Le résultat est une grille avec des valeurs uniques pour chaque segment ou lien de flux (figure 30, ci-après).

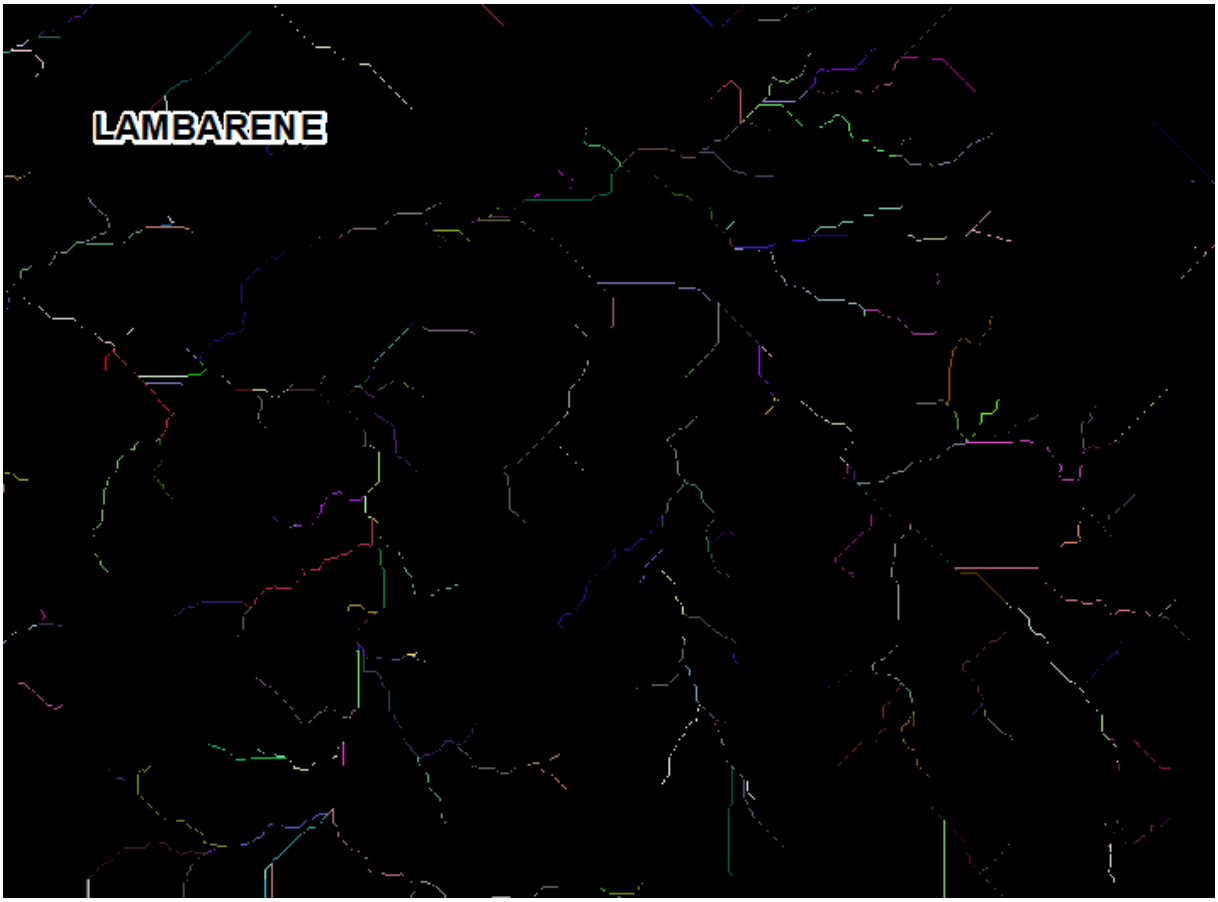



**Figure 30: Liens générés à partir de la commande « *Stream Link* »**

## 4.2. Résultats et analyse

### 4.2.1. Validation des résultats

Le réseau hydrographique généré par le modèle numérique de terrain est fiable à 77 % et assez représentatif de la réalité, vu que le coefficient Kappa est de 0,72, soit un accord très bon (tableau 8, ci-après). Les résultats montrent que les cours d'eau d'ordre 1[6] (classification de Sthraler) sont les moins fiables, notamment la section qui s'avère être

6 La méthode de hiérarchisation d'écoulement proposée par Strahler en 1952. L'ordre d'écoulement augmente uniquement lorsque des cours d'eau du même ordre se croisent. Ainsi, l'intersection d'une liaison de premier ordre et d'une liaison de deuxième ordre reste une liaison de deuxième ordre, mais ne crée pas une liaison de troisième ordre. Il s'agit de l'option par défaut (Esri, 2018).

la source et son premier linéaire, raison pour laquelle, nous avions fait abstraction de ces éléments.

**Tableau 8: Matrice de confusion du réseau hydrographique généré**

| ClassValue | C_1 | C_2 | C_3 | C_4 | C_5 | C_6 | C_7 | C_8 | Total | U_Accuracy | Kappa |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C_1 | 74 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 77 | 96% | 0 |
| C_2 | 9 | 37 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 46 | 80% | 0 |
| C_3 | 2 | 0 | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 90% | 0 |
| C_4 | 25 | 0 | 0 | 21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 46 | 46% | 0 |
| C_5 | 16 | 0 | 0 | 0 | 29 | 0 | 0 | 0 | 45 | 64% | 0 |
| C_6 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24 | 0 | 0 | 32 | 75% | 0 |
| C_7 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 13 | 92% | 0 |
| C_8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 100% | 0 |
| Total | 135 | 37 | 18 | 22 | 30 | 24 | 13 | 2 | 281 | 0 | 0 |
| P_Accuracy | 55% | 100% | 100% | 95% | 97% | 100% | 92% | 100% | 0 | 77% | 0 |
| Kappa | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,72 |

Si l'analyse par ordre des drains montre que les drains d'ordre 1 ont un faible rapport à la vérité/l'évidence, le classement en petit, moyen et grand cours d'eau révèle une réalité plus tangible. En effet, les travaux de terrains et les images drones ont montré que les petits cours d'eau (ruisseaux et petites rivières) sont compris entre l'ordre 1 et 3, les cours d'eau moyen entre 4 et 5, enfin les cours d'eau d'ordre égal ou supérieurs à 6 représente les grandes rivières et le fleuve Ogooué (figure 31, ci-après).

Sur une image de 10 m de résolution, les petites rivières sont invisibles et généralement sous couverture forestière ; et les cours d'eau moyens sont à peine perceptibles et régulièrement entrecoupés par la présence de la canopée sur certaines sections du tronçon. Quant aux grandes rivières, elles sont parfaitement perceptibles depuis l'espace. Dans l'ordre de la largeur des fossés, les petits cours d'eau sont inférieurs à 10 mètres, et les moyens oscillent souvent entre 11 et 30 mètres.

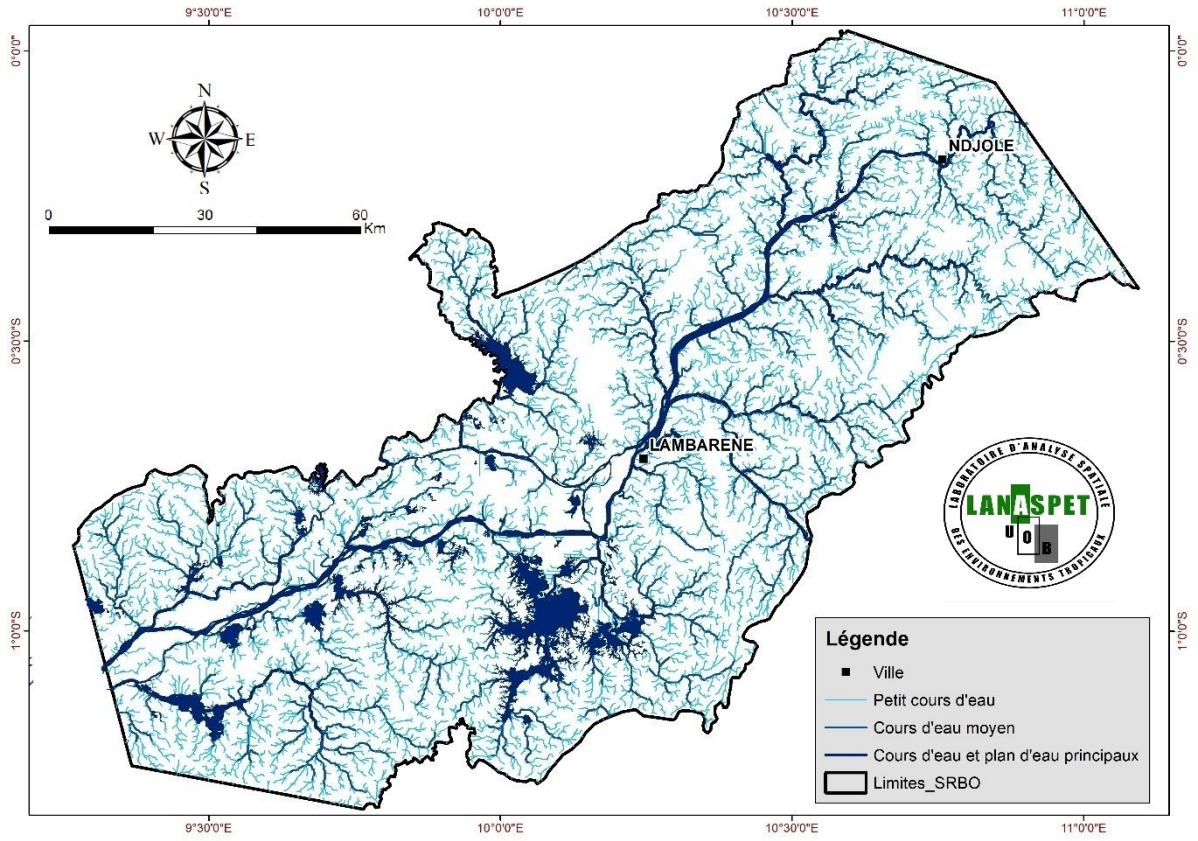



**Figure 31: Réseau hydrographique du site Ramsar du Bas Ogooué**

Concernant les altitudes, nous remarquons que les artefacts sont plus présents dans les zones basses, notamment, les zones marécageuses et les plans d'eau où l'on perçoit des cours d'eau à l'aspect rectiligne (figure 32, ci-après). *A contrario* dans les zones à relief accidenté, les vallées sont bien marquées et leur aspect permet d'avoir un réseau hydrographique qui épouse parfaitement les talwegs.

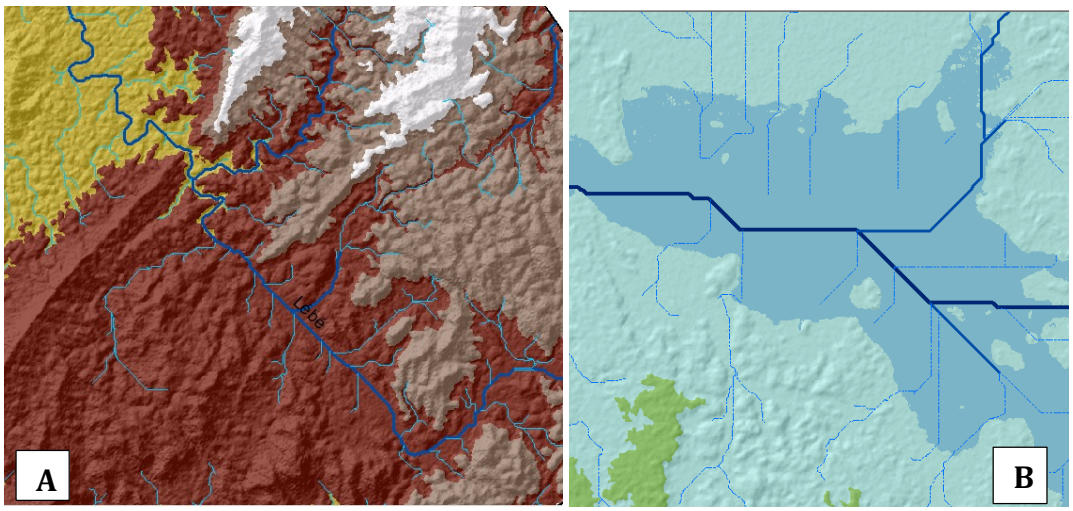



**Figure 32: Drains épousant les formes du tawleg (A) contre des tronçons rectilignes dans le lac Ovowé et ses marécages (B)**

### 4.2.2. Caractérisation du réseau hydrographique

Les grands systèmes fluviatiles résultent du transport et de la sédimentation par les cours d'eau qui s'organisent différemment, d'amont en aval, selon les précipitations et les pentes régionales. Ces dernières varient énormément entre la source et l'exutoire, et selon la structure et la nature des terrains traversés (Sédrette S., 2017).

Selon le réseau hydrographique généré, l'ensemble des cours d'eau générés sur le Bas Ogooué s'étend sur une longueur totale de 26 888 km. Trois grands types d'organisation du chenal des rivières peuvent être distingués dans le site Ramsar : le chenal unique, en amont de tous les cours d'eau ; les chenaux méandriformes, dans les cours inférieurs à faible pente longitudinale où les eaux ont une vitesse réduite et une faible et fine charge sédimentaire ; et enfin les chenaux anastomosés, dans la partie du fleuve située dans la région à faible pente de la plaine deltaïque supérieure (figure 33, ci-après).

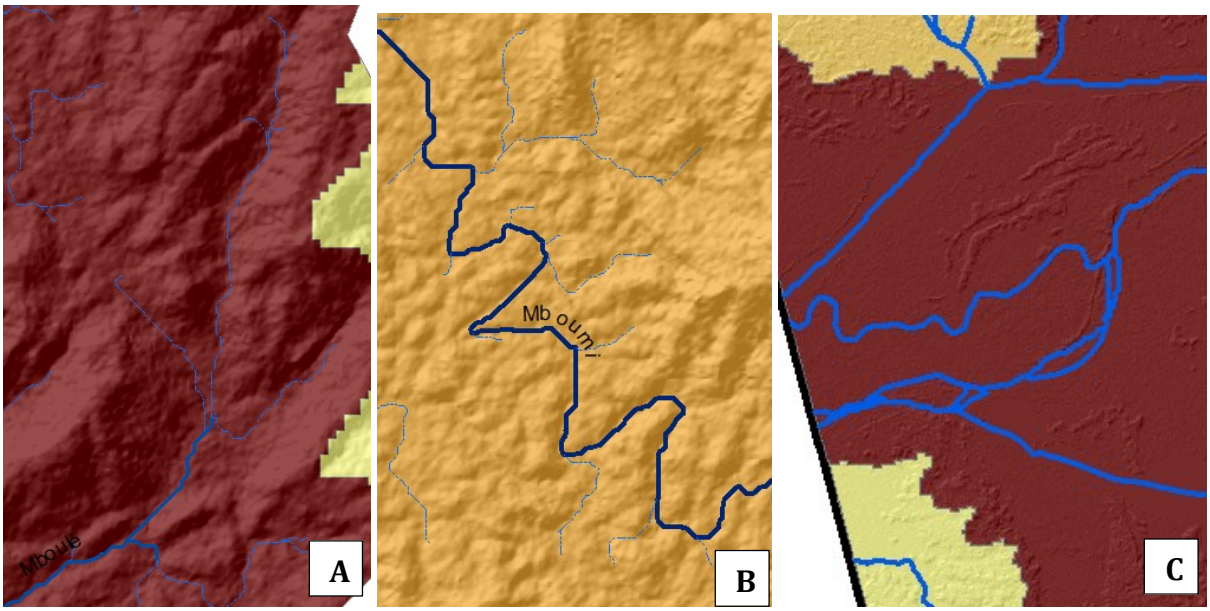



**Figure 33: Chenal principal sur la rivière Mboulé (A), Chenal méandriforme sur la rivière Mboumi (B) et chenaux anastomosés sur l'Ogooué (C)**

Sur tout le site l'essentiel du réseau de drainage est dendritique, bien qu'on note certains écoulements rectangulaires dans les parties accidentées du site situés, principalement aux extrémités nord. Selon Howard A. D. (1967) les réseaux dendritiques ne peuvent se développer que sur des sédiments résistants, horizontaux, ou biseautés par une surface horizontale. Il devait nécessairement exister une pente régionale faible au moment où le réseau de drainage s'est mis en place. Les roches rencontrées peuvent être

des roches sédimentaires aussi bien que des roches cristallines, qui sont des roches bien représentées dans le site.

A côté du réseau dendritique, ceux de type triangulaire s'établissent sur un substrat fortement tectonisé; les failles peuvent se couper à angles droits. Les fleuves et les lignes de partage des eaux masquent la continuité régionale (figure 35, ci-après).

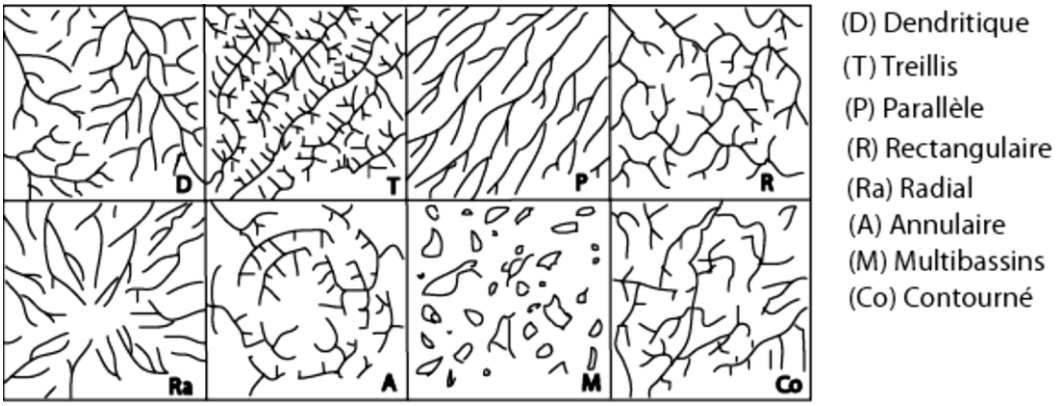



**Figure 34: Les huit classifications descriptives des réseaux de drainage (Howard, 1967)**

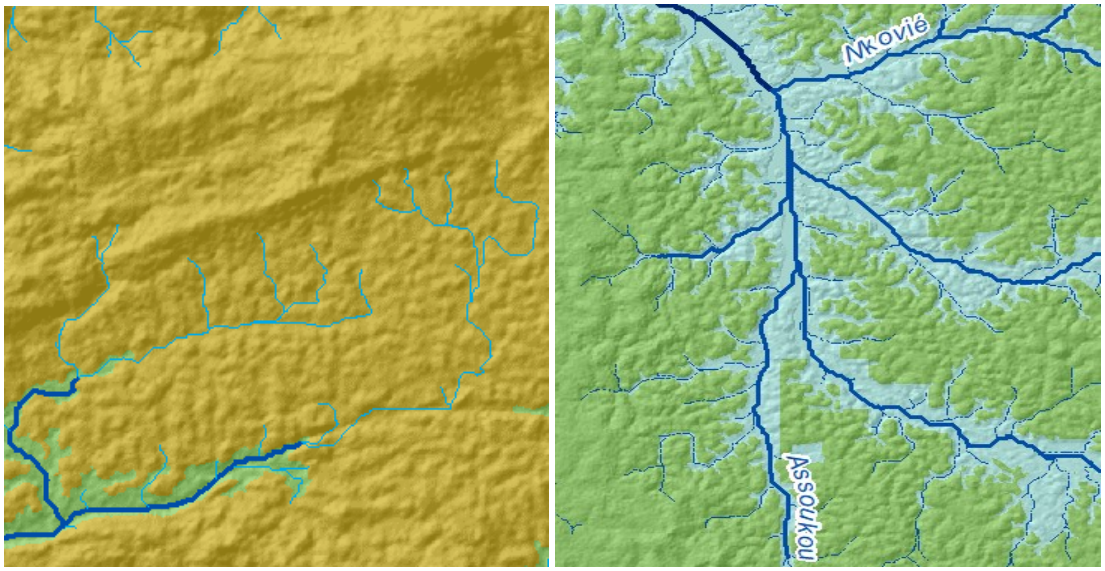



**Figure 35: Classification descriptive du réseau hydrographique du site Ramsar du Bas Ogooué**

Le cours d'eau principal de la région est bien évidemment le fleuve Ogooué, qui est le déversoir de l'ensemble des rivières présentes à l'intérieur du site. A côté de l'Ogooué, il y'a d'autre rivières de plus de 40 km de long, tels que l'Oréga et l'Ouango, qui sont des bras de l'Ogooué après scission au niveau de Lambaréné (tableau 9, ci-après). A côté de celles-là citons, entre autres, les rivières Mboumi et Abanga, qui donne par ailleurs, son nom à l'un des deux départements de la province du Moyen Ogooué (Abanga-Bigné).

**Tableau 9: Les principaux cours d'eau du site Ramsar du Bas Ogooué (SRBO)**

| Id | Rivière | Longueur (SRBO) | Superficie du bassin versant |
|---|---|---|---|
| 1 | Ogooué | 255,86 km | 3 450 km$^2$ |
| 2 | Oréga | 112,34 km | |
| 3 | Mboumi | 109,16 km | 449 km$^2$ |
| 4 | Ouango | 92,76 km | 1 309 km$^2$ |
| 5 | Abanga | 72, 7 km | 716 km$^2$ |
| 6 | Lébé | 66, 23 km | 384 km$^2$ |
| 7 | Mbiné | 62,01 km | 670 km$^2$ |
| 8 | Mandjibé | 60, 05 km | 511 km$^2$ |
| 9 | Ngounié | 48,93 km | 563 km$^2$ |
| 10 | Mandzibé | 45,08 km | 200 km$^2$ |

Dans l'ordre des bassins versants, l'Ogooué et l'Oréga cumulés détiennent les chenaux les plus étendus, avec 3 450 km$^2$. La multitude de bras anastomosés entre l'Ogooué et l'Oréga dans le delta supérieur rend complexe la délimitation de ces deux bassins. A la suite du bassin de l'Ogooué, les bassins les plus étendus sont ceux de l'Ouango et l'Abanga, avec respectivement, 1309 km$^2$ et 716 km$^2$. Vraisemblablement, en dehors du bassin de l'Ogooué, la taille des cours d'eau n'est pas fonction de la grandeur des bassins (figure 36, ci-après).

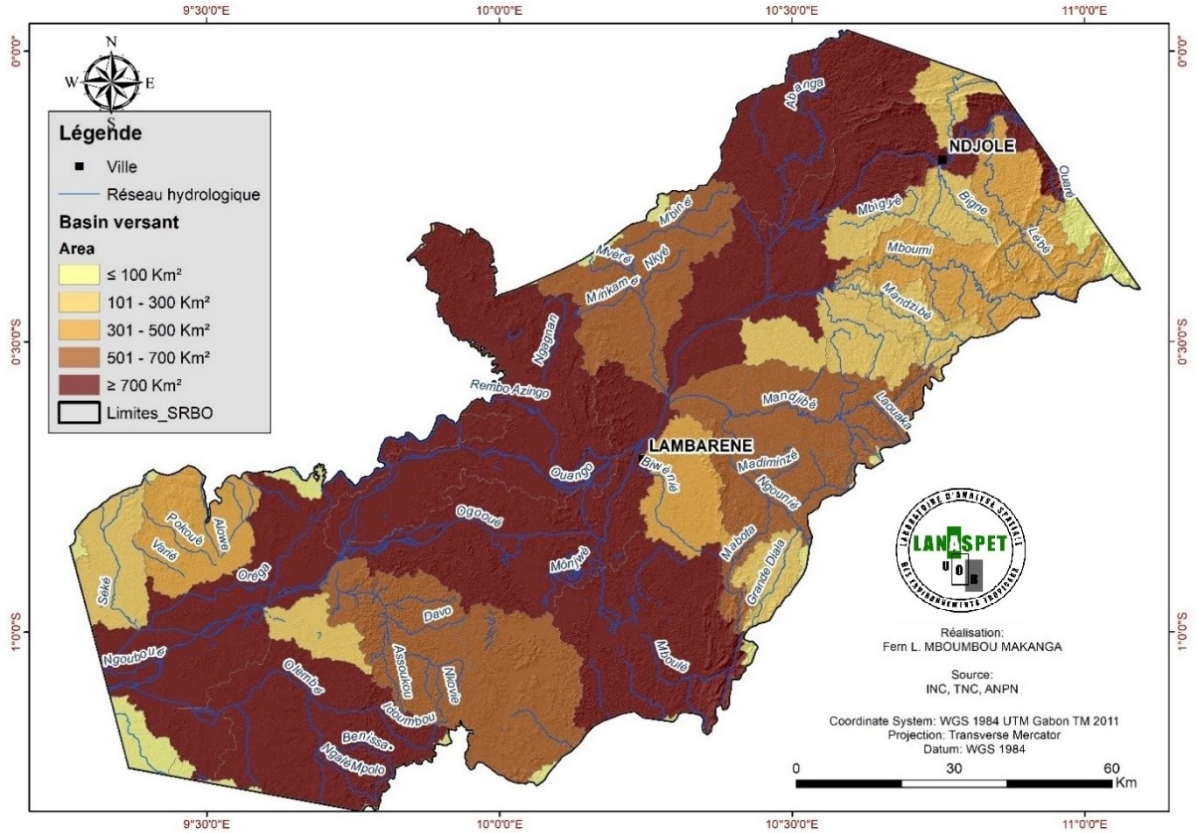



**Figure 36 : Bassin versant dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

### 4.2.3. Le réseau hydrographique dans son environnement

Dans la nature, l'eau se regroupe, détruit, érode, se calme, s'organise en réseaux de diverses natures donnant lieu à des morphologies différentes. Le réseau hydrographique est une composante du système environnemental complexe, très sensible aux variations exogènes, notamment aux variations climatiques, à la déformation tectonique active et aux actions anthropiques (Holbrook J. & Schumm S., 1999 ; Bordet J., 2007). Pour cette raison, l'analyse du réseau dans son environnement pourrait permettre de mieux caractériser la machine hydrique.

Cependant, l'ensemble du réseau ne répond pas aux influences exogènes suivant un schéma simple et linéaire. L'analyse des cours d'eau dans l'environnement détermine la distribution de la biodiversité, des habitats et des processus écologiques (*The Nature Conservancy*, *TNC ;* 2022). Elle permet ainsi de montrer les zones où les stratégies de protection et de gestion doivent être priorisées.

Dans l'ensemble 162 km de l'ensemble du réseau hydrographique se trouve dans les principaux milieux anthropisés (plantations industrielles, villes). Ces milieux, impactés par l'homme et ses activités, sont des principaux vecteurs de contaminations des eaux, à cause des intrants agricoles et des effluents des ménages. Ces eaux sont par la suite collectées par l'Ogooué qui est, tout au long de son parcours, approvisionné en eau par les 12 680 km de drains sous couverture forestière (figure 37 et 38, ci-après).

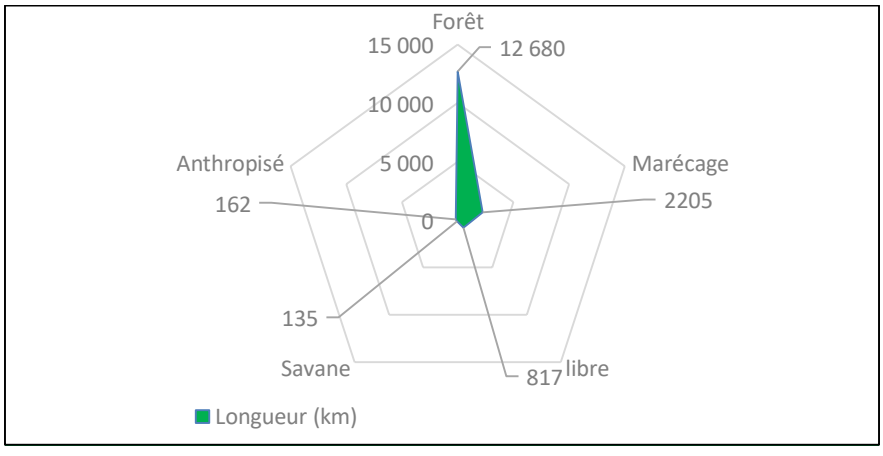



**Figure 37: Répartition des cours d'eau par paysage dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

Une partie de ses polluants est donc poussée vers les eaux marécageuses dites noires et souvent acides, où les populations de parasites et bactéries concourent à l'épuration des

eaux. Elles sont d'ailleurs considérées comme étant parmi les eaux naturelles les plus propres au monde (Burthler R.A., 2009).

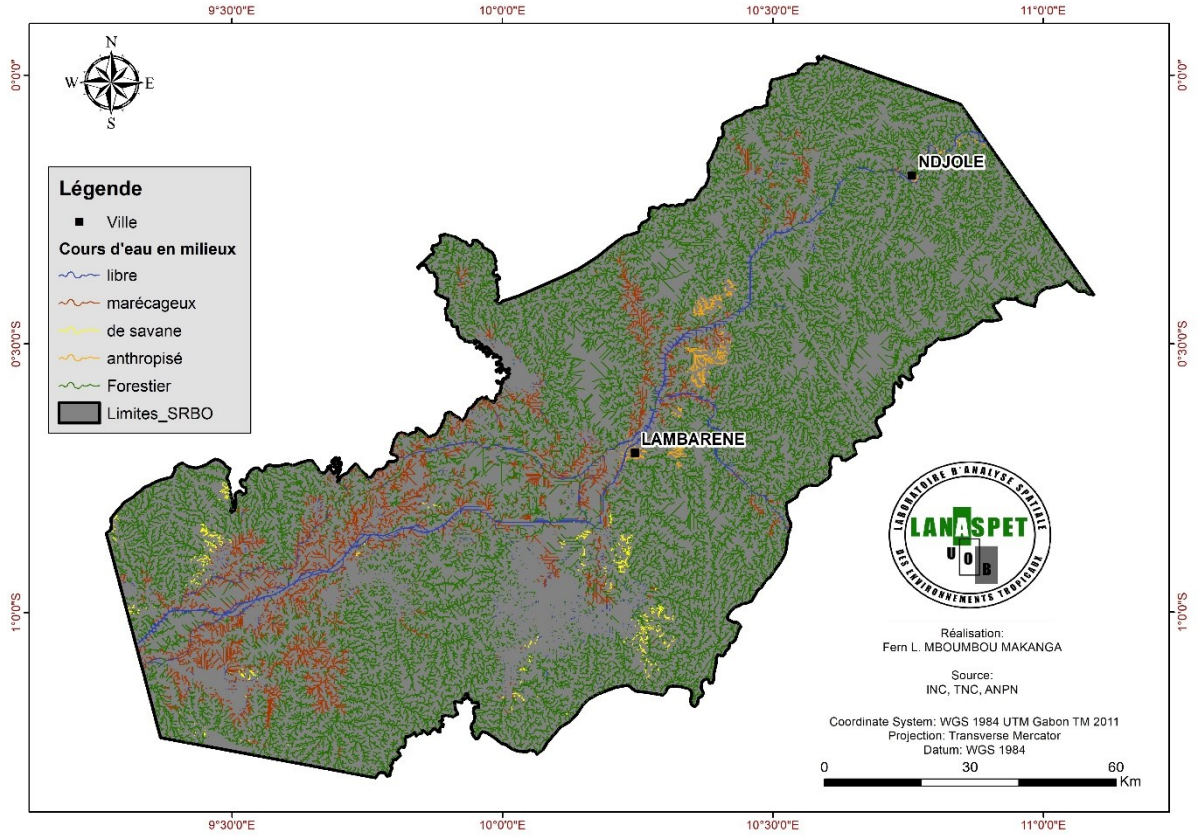



**Figure 38: Réseau hydrographique par unité d'occupation du sol dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

Par rapport au relief, les tronçons hydrologiques sont alignés en forme d'amphithéâtre ouvert vers le nord-ouest (figure 39, ci-après). Les cours d'eau de 0 à 50 mètres d'altitudes occupent les zones de dépression correspondant au lit majeur des grands cours d'eau et des grands lacs (figure 40 ci-après). Les cours d'eau de 51 à 100 mètres d'altitudes occupent les interfluves des principaux affluents de l'Ogooué et des grands lacs. Ceux de 101 à 200 mètres prennent place dans la région vallonnée. L'extrémité nord-est du site est la région la plus élevée et correspond à la partie terminale du massif du Chaillu, où sont localisés les cours d'eau perchées à une hauteur supérieure à 400 m d'altitude.

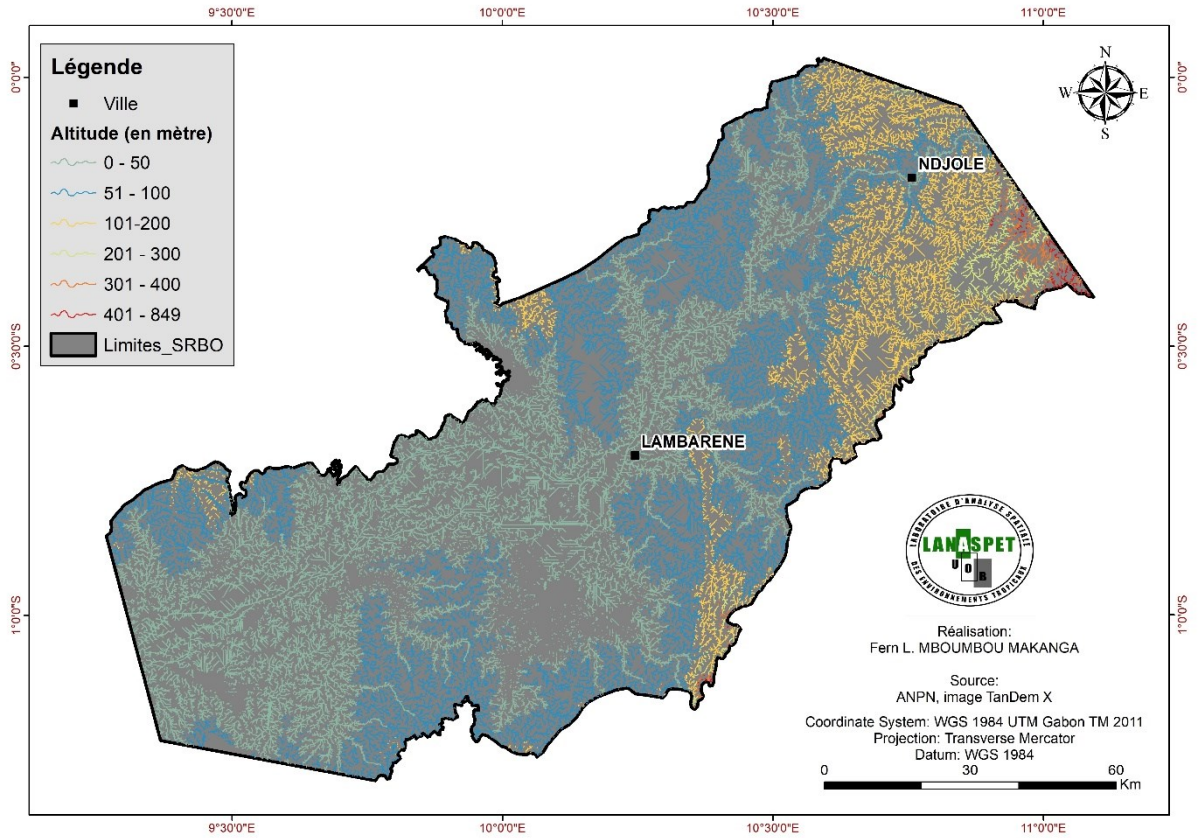



**Figure 39: Répartition du réseau de drainage par rapport au relief dans le site Ramsar du Bas-Ogooué**

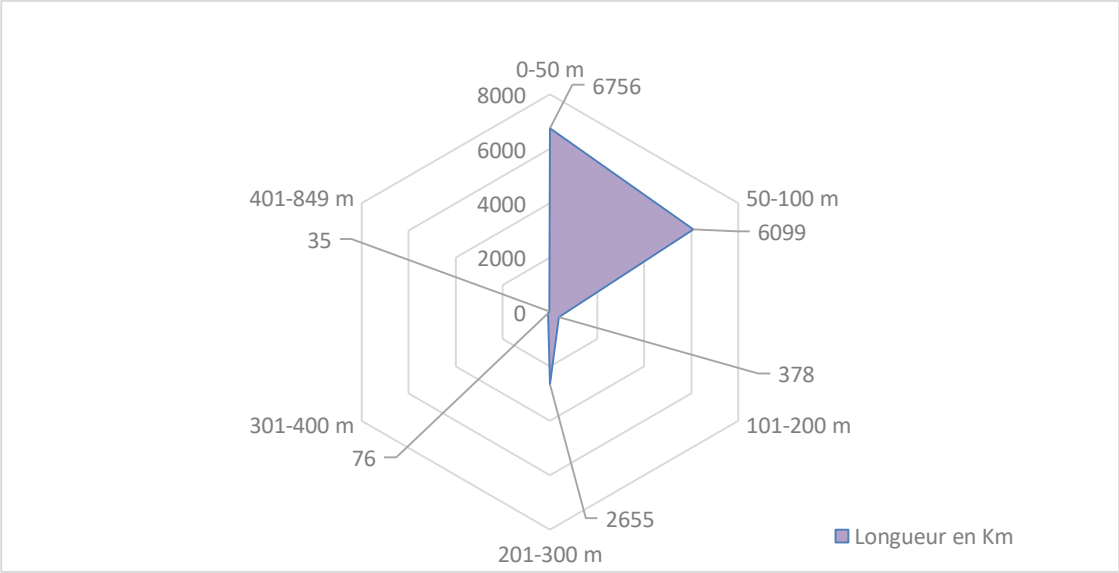



**Figure 40: Part des drains par rapport aux valeurs d'altitude dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

La majorité des drains reposent sur des roches sédimentaires, dont le processus d'infiltration est favorisé par l'humus en dehors des zones forestières (figure 41, ci-après).

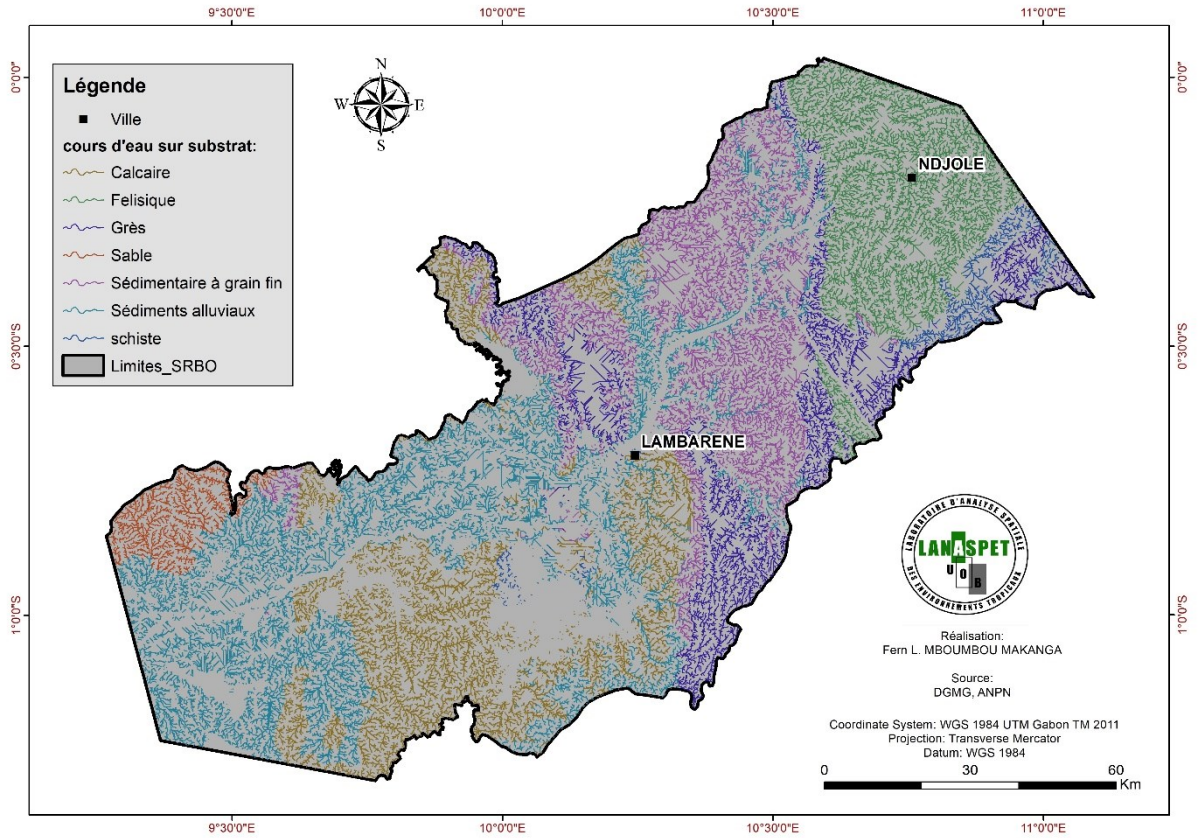



**Figure 41: Répartition du réseau de drainage par rapport aux lithofaciès dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

La carte pédologique (section 2.1.3) indique que la majorité des régions du Bas Ogooué ont une lithologie classée comme influencée par les eaux souterraines (Martin D. et *al*, 1981). Il s'agit notamment de tout le delta supérieur, de la région des confluences Ngounié-Ogooué, Mbiné-Ogooué et Abanga-Ogooué (figure 42, ci-après).

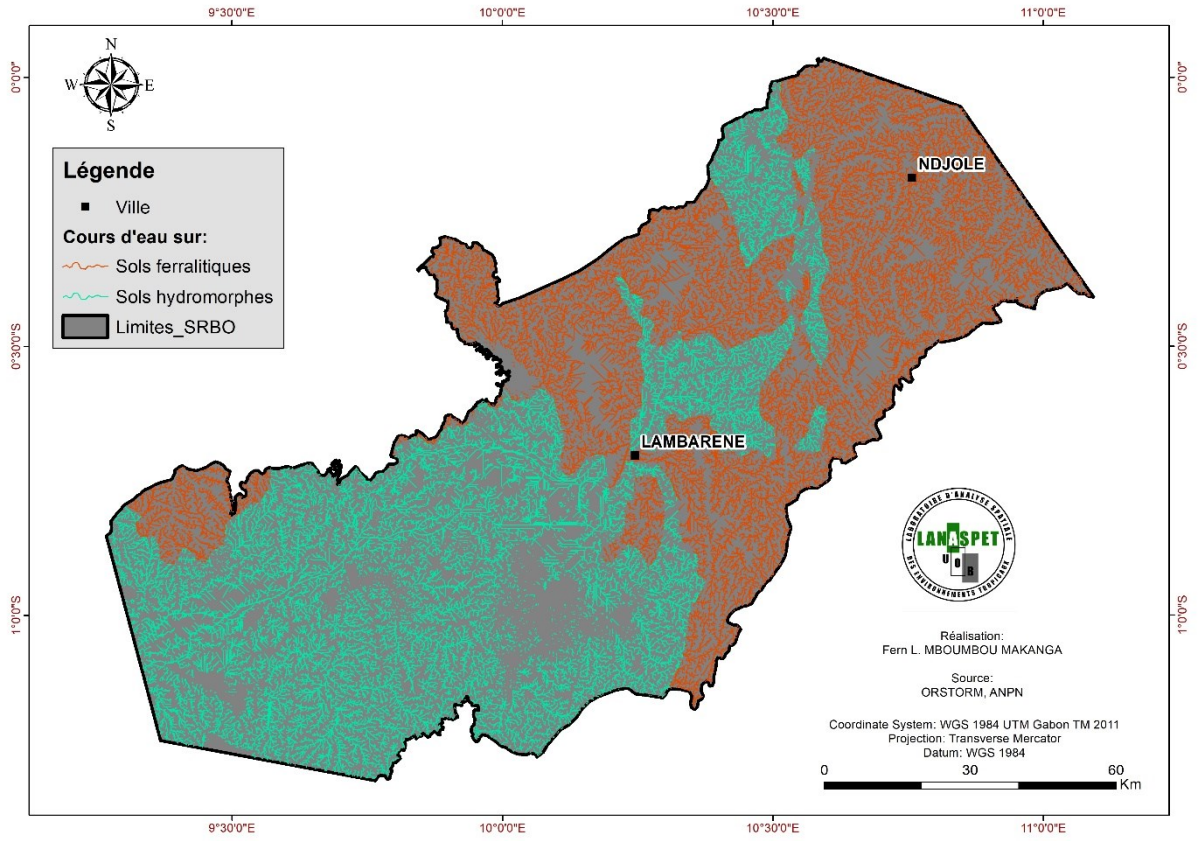



**Figure 42: Réseau de drainage selon les types de sols (A l'intérieur de la carte dans la légende il manque S à hydromorphe)**

## 4.3. Interprétation des résultats

Les résultats montrent que les données TanDem X permettent de générer un réseau hydrographique complexe et hiérarchisé. L'analyse de corrélation a montré que la méthode appliquée pour produire les cours d'eau fournit une meilleure précision dans les régions accidentées comparées aux régions de plaines, surtout en ce qui concerne les cours d'eau d'ordre 1. En effet, si l'erreur des cours d'eau d'ordre 2 à 8 varient de 0 à 0,05, ceux des cours d'eau d'ordre 1 est de 0,45.

Les validations de terrain présentées dans ce chapitre sur les nombreux transects effectués semblent être représentatives au vu des 281 points GPS collectés. En effet, ces points ont été collectés aussi bien au nord, qu'au sud du site, dans les régions accidentées et planes. Les différences supérieures à 2 mètres se localisent sur ces fossés d'ordre 1.

Dans l'ensemble, les données TanDem X permettent de détecter correctement le réseau hydrographique par approche automatique, aussi bien en milieu ouvert que fermé.

En revanche, la méthodologie employée n'apporte pas entière satisfaction pour la caractérisation des fossés en région plane. Les sources d'erreur, citées plus haut, sont plus liées au processus de traitement pour améliorer la correction des dômes dans ces secteurs. Néanmoins la méthodologie est appliquée avec succès et s'avère prometteuse par rapport aux réseaux générés par Rapinel (2012).

Cependant, une étape de correction de la géométrie des drains avec des images hautes résolution est nécessaire, pour obtenir une carte valide et exhaustive du réseau hydrographique sur l'ensemble du site. Outre cette réalité, certains cours d'eau perdent leurs connectivités dans les zones planes et nécessitent, néanmoins, des manipulations supplémentaires.

Le réseau hydrographique a été déduit d'un autre. Il a été amélioré, à partir des images de haute résolution et du modèle numérique de surface de 12 mètres de résolution spatiale (TanDem X). Les corrections, aussi bien que les traitements, ont été exécutés sous l'environnement ArcGis®, principalement à travers les outils d'analyses spatiales. La validation des cours d'eau a fait l'objet de plusieurs sorties de terrain, à l'aide d'un appareil GPS et de l'application mobile Locus MAP®.

Le réseau hydrographique généré est dense et représentatif de la réalité. Néanmoins, les cours d'eau d'ordre 1 sont les moins fiables, notamment la section qui s'avère être la source et son premier linéaire. L'ensemble des cours d'eau générés sur le Bas Ogooué s'étend sur une longueur totale de 26 888 km. Sur ce dernier, trois grands types d'organisation de chenaux des rivières peuvent être distingués :

- le chenal unique, en amont de tous les cours d'eau ;
- les chenaux méandriformes, dans les cours inférieurs à faible pente longitudinale où les eaux ont une vitesse réduite et une faible et fine charge sédimentaire ;
- les chenaux anastomosés, dans la partie du fleuve située dans la région à faible pente de la plaine deltaïque supérieure.

La majorité des réseaux de drainage est dendritique, à l'exception de certains écoulements rectangulaires observés dans les parties accidentées du site aux extrémités

nord. Les réseaux dendritiques s'écoulent sur des sédiments résistants, horizontaux, tandis que les réseaux rectangulaires s'établissent sur un substrat fortement tectonisé.

Dans l'ordre des bassins versants, l'Ogooué et l'Oréga détiennent le plus étendu, avec plus de 3 450 $km^2$. La multitude de bras anastomosés entre l'Ogooué et l'Oréga dans le delta supérieur rend fastidieux la délimitation de ces deux bassins. A la suite du bassin de l'Ogooué, les bassins les plus étendus sont ceux de l'Ouango et l'Abanga, avec respectivement, 1309 et 716 $km^2$. Vraisemblablement, en dehors du bassin de l'Ogooué la taille des cours d'eau n'est pas fonction de la grandeur des bassins.

L'analyse des cours d'eau dans l'environnement a permis de déterminer les zones où les stratégies de protection et de gestion doivent être prioriser. C'est ainsi que le delta supérieur, la région de confluence Ngounié-Ogooué et celle de Mbiné-Abanga ont une lithologie classée comme influencée par les eaux souterraines.

De même, sur l'ensemble du réseau se trouve une frange qui se trouve dans les principaux milieu anthropiques (plantations industrielles, villes). Ces milieux sont susceptibles d'être des vecteurs de contaminations des eaux, à cause des intrants agricoles, des effluents des ménages et des rejets industriels.

# CHAPITRE 5 : EXTRACTION DES ENTITES HYDROGRAPHIQUES SURFACIQUES DU SITE RAMSAR BAS OGOOUE

Le présent chapitre tend à compléter le réseau hydrographique linéaire, en délimitant les entités hydrographiques surfaciques, à partir des images de hautes résolutions. Les entités hydrographiques surfaciques correspondent aux plans d'eau et aux cours d'eau dont la largeur du lit est supérieure à 10 mètres.

L'objectif de ce chapitre est d'actualiser la donnée relative à l'eau surfacique, car la dernière donnée disponible (WRI, 2013) a été en partie générée à partir des mosaïques d'image Landsat et de la numérisation.

Ce fichier, n'est pas actualisé (datant de 2010) et son échelle (30 000$^{ème}$) n'est pas adaptée pour des analyses fines et la planification. A cette échelle, il serait impossible, par exemple, de détecter une mare dont le diamètre est inférieur à 30 mètres. Or, les plan d'eau stagnants et les autres entités hydrologiques surfaciques sont fortement disséminés à travers le Bas Ogooué.

Dans la perspective d'une gestion durable ou d'une analyse des fonctions des zones humides, une donnée de ses réservoirs à une échelle plus fine serait primordiale. Les plans d'eau du Bas Ogooué sont partiellement noires, reparties dans les lacs et les mares. Ces eaux constituent des réservoirs d'eau douce importants, mais également des zones de piégeage de sédiments et des polluants (Moumbongoyo R., 2017 et Burthler R.A., 2017).

L'analyse des entités hydrographiques surfaciques permet également de compléter les informations acquises sur certains cours d'eau générés au chapitre 4. Ce chapitre s'articule autour de 3 points : le matériel et les méthodes, les résultats obtenus et l'interprétation de ces derniers.

## 5.1. Matériel et méthodes

### 5.1.1. Le choix des images

Les plans d'eau ont été extraits par la méthodologie de cartographie d'occupation du sol à partir des images Sentinel 2. Les images Sentinel 2 sont des images multi spectrales de haute résolution. Elles constituent, dans le cadre de la sous-région, les

images libres d'accès bénéficiant de la meilleure résolution spatiale, soit 10 mètres de côté par un pixel. Elles ont été acquises sur le site de l'Agence géologique américaine (USGS)[7].

La zone du site Ramsar Bas Ogooué est une zone à fort couvert nuageux tout au long de l'année, il nous a donc été difficile de travailler sur des scènes actuelles sans pour autant avoir recours aux scènes d'années antérieures. Précisons que les traitements pour la carte d'occupation ont eu lieu durant l'année 2021.

Au total, neuf scènes ont été utilisées pour le traitement, alors qu'en condition normale (images sans nuages), il en faut cinq (tableau 10, ci-après). Ces dernières ont été prises en saison des pluies, entre les mois de mars et avril majoritairement. Cette sélection qui ne relève que des images à faible taux de nuages disponibles semblent indiquer que la période propice est celle de la saison des pluies.

**Tableau 10: images utilisées**

| Id | Noms | Date de sortie |
|---|---|---|
| 1 | L1C_T32MNE_A020897_20210307T09391 | 07/03/2021 |
| 2 | L1C_T32MPE_A029834_20210309T092339 | 09/03/2021 |
| 3 | L1C_T32MQE_A020897_20210307T093916 | 07/03/2021 |
| 4 | L1C_T32MPD_A030163_20210401T094938 | 01/04/2021 |
| 5 | L1C_T32MND_A022870_20191108T094451 | 08/11/2021 |
| 6 | L1C_T32MND_A009285_20170402T093844 | 02/04/2017 |
| 7 | L1C_T32MNE_A009285_20170402T093844 | 02/04/2017 |
| 8 | L1C_T32MPE_A009285_20170402T093844 | 02/04/2017 |
| 9 | L1C_T32MPD_A009285_20170402T093844 | 02/04/2017 |

### 5.1.2. Prétraitements

#### *5.1.2.1. Le choix des bandes spectrales.*

D'une part, des indices calculés ont constitué des bandes spectrales. D'autre part, un travail a été fait avec 10 bandes spectrales, sur les 13 que présentent une image Sentinel 2 (tableau 11, ci-après). Chacune de ces bandes sélectionnées jouent un rôle déterminant dans la détection des éléments d'occupation du sol. Certaines d'entre elles, qui sont en vert dans le tableau ci-dessous, ont été utilisées pour le calcul de certains indices.

**Tableau 11: Bandes spectrales d'une image Sentinel 2**

[7] https://glovis.usgs.gov/app

| Sentinel-2 Bandes | Longueurs d'onde | Résolution |
|---|---|---|
| Bande 1- Aérosols côtiers | 0,421 – 0,457 | 60 |
| Bande 2 – Bleue | 0,439 – 0,535 | 10 |
| Bande 3 – Verte | 0,537 – 0,582 | 10 |
| Bande 4 – Rouge | 0,646 – 0,685 | 10 |
| Bande 5 – Vegetation Red Edge | 0,694 – 0,714 | 20 |
| Bande 6 - Vegetation Red Edge | 0,731 – 0,749 | 20 |
| Bande 7 - Vegetation Red Edge | 0,768 – 0,796 | 20 |
| Bande 8 – Proche Infrarouge | 0,767 – 0,908 | 10 |
| Bande 8A- Vegetation Red Edge | 0,848 – 0,881 | 20 |
| Bande 9 – Vapeur d'eau | 0,931 – 0,958 | 60 |
| Bande 10 – Infrarouge Moyen/cirrus | 1,338 – 1,414 | 60 |
| Bande 11 – Infrarouge Moyen | 1,539 – 1,681 | 20 |
| Bande 12- Infrarouge Moyen | 2,072 – 2,312 | 20 |

*5.1.2.2. Calcul des indices*

Pour chaque image téléchargée, après avoir sélectionné les bandes spectrales, nous avions ré-échantillonné à 10 mètres les bandes qui avaient une résolution spatiale moins fine et calculé de façon séparée les indices d'eau et de végétation. Ainsi, ont été calculés trois indices spectraux : le NDVI, le NDWI et le NDWI 2.

Le premier est l'Indice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) qui constitue un indice normalisé permettant de générer une image représentant la biomasse relative. L'indice NDVI est privilégié pour l'observation globale de la végétation, car il permet de compenser les changements de conditions d'éclairage, de pente de surface, d'exposition et d'autres facteurs exogènes (Lillesand T.M. et *al.,* 2004).

En théorie, les valeurs du NDVI sont comprises entre -1 et +1 ; les valeurs négatives correspondant aux surfaces autres que les couverts végétaux, comme l'eau ou les nuages. Pour les sols nus, le NDVI présente des valeurs proches de 0. Les formations végétales, quant à elles, ont des valeurs de NDVI positives, généralement comprises entre 0,1 et 0,7 ; les valeurs les plus élevées correspondant aux couverts les plus denses. Il se calcule à partir de la relation suivante :

$$NDVI = \frac{(PIR - R)}{(PIR + R)}$$

*PIR est la bande Proche Infrarouge et R, la bande rouge.*

Le deuxième est l'indice NDWI (*Normalised Difference Water Index*) construit selon le même principe que le NDVI, c'est-à-dire d'une différence normalisée entre deux bandes spectrales. Dans ce cas de figure, il s'agit de la bande verte et de la bande proche infrarouge. Il est utilisé pour surveiller les changements liés à la teneur en eau dans les plans d'eau.

L'indice NDWI a fait l'objet de plusieurs études sur la cartographie des zones humides (Vacquié L. et Houet T., 2012), ou pour le suivi des crues (Sleimi T., 2018). Pour l'interprétation visuelle ou numérique de l'image NDWI, les valeurs inférieures représentent les surfaces sans eau, tandis que les valeurs supérieures ou égales à 0,3, représentent les surfaces en eau. L'indice NDWI se calcule de la manière suivante :

$$NDWI = \frac{(V - PIR)}{(V + PIR)}$$

*Où PIR est la bande Proche Infrarouge et V, la bande verte.*

Le troisième, indice est le NDWI 2, la deuxième variante de l'indice de teneur en eau par différence normalisée (NDWI). Suivant le même principe que le deuxième, cet indice de teneur en eau par différence normalisée utilise la bande proche infrarouge et une bande de l'infrarouge à courtes longueurs d'onde (Gao B., 1996). Ce marqueur est utilisé pour surveiller les changements de la teneur en eau des feuilles. L'indice NDWI 2 se calcule selon l'équation suivante :

$$NDWI\ 2 = \frac{(PIR - MIR)}{(PIR + MIR)}$$

*Où PIR est la bande Proche Infrarouge et MIR, la bande Infrarouge moyen*

#### *5.1.2.3. Combinaison des bandes spectrales et extraction des zones à nuages*

Après l'étape du calcul des indices, passons à celle de la combinaison des bandes spectrales. De façon explicite, cela consiste à regrouper toutes les bandes (y compris les indices calculés), de manière à obtenir une image unique de la zone. Les bandes ont été combinées sous l'environnement QGIS, car il permet de classer/d'agencer les bandes selon la plus haute résolution spatiale, la moyenne ou la plus basse. Notre choix a porté sur la plus haute, c'est-à-dire celle qui correspond à 10 mètres de résolution.

### 5.1.3. Traitement des images

A partir des nouvelles images découpées selon l'emprise des zones sans nuage, la photo-interprétation a permis de ressortir douze classes d'occupation du sol détaillées dans le tableau 12, ci-après.

**Tableau 12: Classes retenues pour l'occupation du sol**

| N° | Classes | Description |
|---|---|---|
| 1 | Bâti | correspond à l'ensemble des surfaces bâties (routes bitumées, bâtiments, plateformes pétrolières) |
| 2 | Eau libre | ensemble des surfaces en eau visibles depuis l'espace |
| 3 | Forêt de terre ferme | forêt de terre ferme, n'incluant pas les forêts dégradées |
| 4 | Forêt dégradée | Correspond aux zones de régénération de forêt suite à une exploitation relativement récente |
| 5 | Forêt marécageuse ouverte | forêt dans le sol humide (ou quasiment humide) durant toute l'année |
| 6 | Forêt marécageuse fermée | Mangrove de grande taille, composée généralement de *Rhizophora* |
| 7 | Marais | zone marécageuse à ciel ouvert, ou comprenant une végétation basse hygrophile tels que les papyrus ou des roseaux |
| 8 | Plantation | zones de cultures traditionnelles |
| 9 | Banc de sable | espace dont le substrat de surface est à majorité sableux |
| 10 | Savane | vaste prairie des régions tropicales, pauvre en arbres et en fleurs |
| 11 | Sol nu | surface dénudée |
| 12 | Zone de coupe | zone de basse végétation, ayant généralement, fais l'objet de défrichage (végétation urbaine, pelouse, etc.) |

Réalisation : Fern MBOUMBOU MAKANGA, 2021

Dès que les surfaces d'entraînement ont été produites pour chaque classe d'occupation, elles sont enregistrées, puis sont extraites les signatures spectrales correspondantes. La méthode de classification orientée objet a été utilisée, pour obtenir le fichier de classification de base. De même a été mise à contribution la méthode du « *Support Vector Machine* », pour avoir des meilleurs résultats en termes de discrimination des pixels.

### 5.1.4. Prétraitements et validation

Une fois le fichier raster obtenu, un filtre spatial a été appliqué pour gommer les premiers artefacts de classification. Puis, il a été transformé en vecteur pour le rendre malléable, afin de corriger manuellement les dernières erreurs résiduelles.

La validation des classes d'occupation du sol a été rendue possible par deux principaux outils : la collecte des points GPS et l'imagerie drone. A partir de ces deux groupes de données, a pu être calculée la précision du travail de classification d'occupation des sols. La couche d'eau surfacique a simplement été extraite par requête à partir du fichier vecteur validé.

## 5.2. Résultats

### 5.2.1. Caractérisation de l'occupation spatiale

La carte d'occupation du sol produite est le résultat de traitements semi-automatiques massifs des séries temporelles d'images satellites optiques Sentinel-2. Comme les images Sentinel-2, cette carte a une résolution spatiale de 10 m correspondant à une unité minimale de collecte de 0.01 ha. L'occupation du sol est décrite grâce à 10 classes de détail définies en fonction des potentialités de détection de l'imagerie Sentinel-2, et des résultats de la photo-interprétation préalable à l'exercice de classification. Ces classes couvrent les grands thèmes d'occupation du sol tels que les surfaces artificialisées, agricoles et semi-naturelles.

L'avantage de disposer d'une carte d'occupation du sol est qu'elle permet d'appréhender le territoire, selon une exhaustivité descriptive renseignée en fonction des besoins de l'utilisateur. Elle permet, en plus, de pouvoir quantifier les différents types d'occupation, voire d'usage du sol. Le but de disposer d'une carte dans ce travail permet, d'une part, de mettre à jour et quantifier les plans d'eau pour compléter la chaîne d'information sur le réseau hydrographique, entamée au chapitre précédent. D'autre part, il permet d'identifier et inventorier, à un premier niveau, les zones humides présentes dans le site.

La distribution des classes d'occupation du sol au niveau du site Ramsar du Bas Ogooué (tableau 13, ci-après) est dominée par les forêts denses (forêt de terre ferme), qui occupent 67% de la superficie totale de la région, soit 9 118,6 km$^2$. Les marais et les eaux surfaciques viennent en seconde position avec des superficies respectives de 1 468,63 et 855 km$^2$, représentant de façon cumulée 17% de la superficie totale. Les forêts marécageuses cumulées représentent environ 8% du site, soit 1 111, 88 km$^2$, elles serpentent avec les grands affluents de l'Ogooué et servent, généralement, d'espace intermédiaire entre les milieux marécageux et les forêts de terre ferme.

**Tableau 13: Information quantitative sur les classes d'occupation du sol du site Ramsar du Bas Ogooué**

| Id | Classes | Superficies (en km²) | Pourcentages |
|---|---|---|---|
| 1 | Banc de sable | 27,21 | 0,20% |
| 2 | Eau libre | 855,23 | 6,31% |
| 3 | Forêt dégradée | 733,23 | 5,41% |
| 4 | Forêt marécageuse fermée | 617,53 | 4,56% |
| 5 | Forêt marécageuse ouverte | 494,32 | 3,65% |
| 6 | Zone bâtie | 22,35 | 0,17% |
| 7 | Marais | 1 468,63 | 10,83% |
| 8 | Plantations | 84,36 | 0,62% |
| 9 | Savanes | 129,21 | 0,95% |
| 10 | Forêt de terre ferme | 9 118,60 | 67,29% |
| | **Total** | **13550,89** | **100,00%** |

Source : Fern MBOUMBOU MAKANGA

Les forêts dégradées, situées généralement autour de la route nationale (axe Lambaréné-Fougamou), représentent 5,41% de la superficie de la région, soit 733 km². Quant aux plantations, elles sont majoritairement industrielles et représentent moins de 1% du site, soit 84 km². Enfin, la zone bâtie, représentée majoritairement, par les villes de Lambaréné et de Ndjolé, ne sont que faiblement représentées avec une superficie de 22 km², soit 0,17%.

La carte d'occupation du sol permet de répertorier un premier niveau des zones humides. En effet, on peut y faire une première délimitation à partir des habitats où l'eau est véritablement le principal facteur de contrôle de l'environnement. Les classes concernées sont donc : l'eau libre, les forêts marécageuses ouvertes et fermées, les marais et les bancs de sable. Dans l'ensemble, ces derniers totalisent 3 462 km², soit près de 26% seulement de l'ensemble du site.

Les zones humides sont fortement représentées dans le delta supérieur avec le réseau impressionnant de lacs et l'énorme zone marécageuse singulière à l'Ogooué et à ses nombreux bras. Au nord, sur le tronçon des rivières Mbiné et Abanga, ainsi que sur celui du fleuve Ogooué, s'observe une représentativité importante des zones humides (figure 43, ci-après).

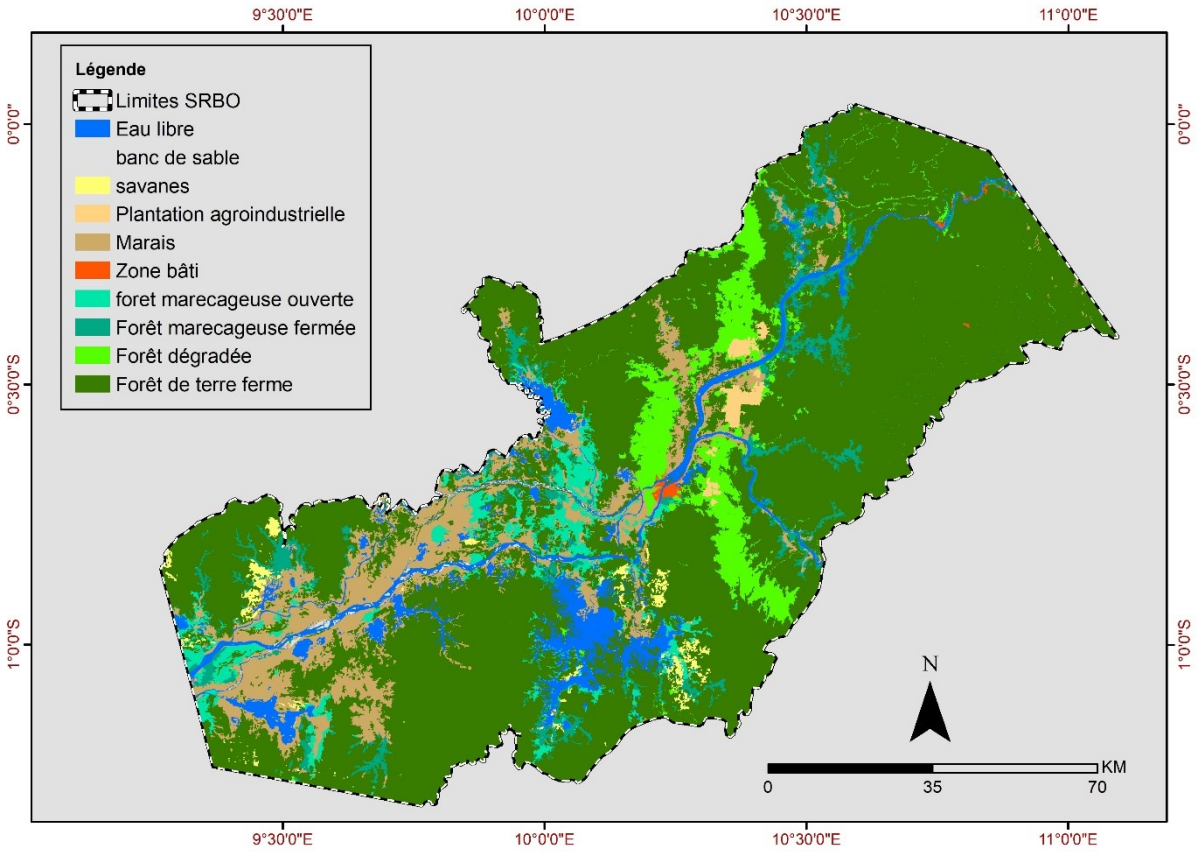



**Figure 43: Occupation du sol du site Ramsar du Bas Ogooué**

La précision globale des résultats de la classification est de 87% avec un indice Kappa de 0.76. Cela signifie que parmi les 862 zones d'observation, 87 % sont bien classés ; en revanche, 13 % sont mal classés. En effet, la carte de la figure 43, ci-avant, est donc précise à 87% ; pour son utilisation, l'erreur marginale est de 13% (tableau 14, ci-après). Toutefois, le modèle peut être exploité, car d'après Pontius R. (2000) lorsque l'indice Kappa d'un modèle de classification est compris entre 0,50 et 0,75 il peut être considéré comme recevable (ou exploitable).

.

**Tableau 14: Matrice de confusion**

| Classes d'occupation du sol | Eau | Forêt dégradée | Forêt marécageuse fermée | Forêt marécageuse ouverte | Zone bâtie | Marais | Savane | Forêt de terre ferme | Total | Précision | Kappa |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Eau | 119,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 121,00 | 0,90 | |
| Forêt dégradée | 0,00 | 5,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 4,00 | 10,00 | 0,50 | |
| Forêt marécageuse fermée | 0,00 | 0,00 | 2,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 4,00 | 6,00 | 0,33 | |
| Forêt marécageuse ouverte | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 5,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 5,00 | 12,00 | 0,42 | |
| Zone bâtie | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | |
| Marais | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,00 | 0,00 | 27,00 | 0,00 | 3,00 | 34,00 | 0,79 | |
| Savane | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 1,00 | 2,00 | 0,00 | |
| Forêt de terre ferme | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 143,00 | 145,00 | 0,99 | |
| Total | 119,00 | 5,00 | 5,00 | 8,00 | 0,00 | 30,00 | 0,00 | 161,00 | 331,00 | 0,00 | |
| Précision | 0,86 | 1,00 | 0,40 | 0,63 | 0,00 | 0,90 | 0,00 | 0,89 | 0,00 | 0,87 | |
| Kappa | | | | | | | | | | | 0,76 |

### 5.2.2. Entités hydrographiques de surface dans le Bas Ogooué

Les entités hydrographiques de surface résultent, bien évidemment, de la carte d'occupation de sol précédemment présentée. Les résultats présentés ici proviennent de la classe « eau libre » extraite par requête. Cette information est essentielle dans la mesure où elle permet de compléter le réseau hydrographique généré plus haut. Le réseau hydrographique généré au quatrième chapitre ne prenait pas en compte les aspects surfaciques. Or, le Bas Ogooué est une région parsemée de plans d'eau. De plus, l'ensemble des rivières passées en revue n'ont été décrites que sous le prisme de la longueur. Cependant, des cours d'eau comme l'Ogooué ou la Ngounié sont assez larges pour intégrer la catégorie des entités hydrographiques de surface.

La figure 44, ci-après, concerne aussi bien les lacs, les mares que les grandes rivières. La majorité des entités hydrographiques surfaciques est présente dans la plaine du delta supérieur de l'Ogooué. Cela se justifie premièrement par l'aspect topographique, car le relief y est relativement bas et les pentes faibles. Par la suite, la plupart de ces eaux reposent dans des marécages ouverts, comparativement aux milieux forestiers observés au nord de Lambaréné.

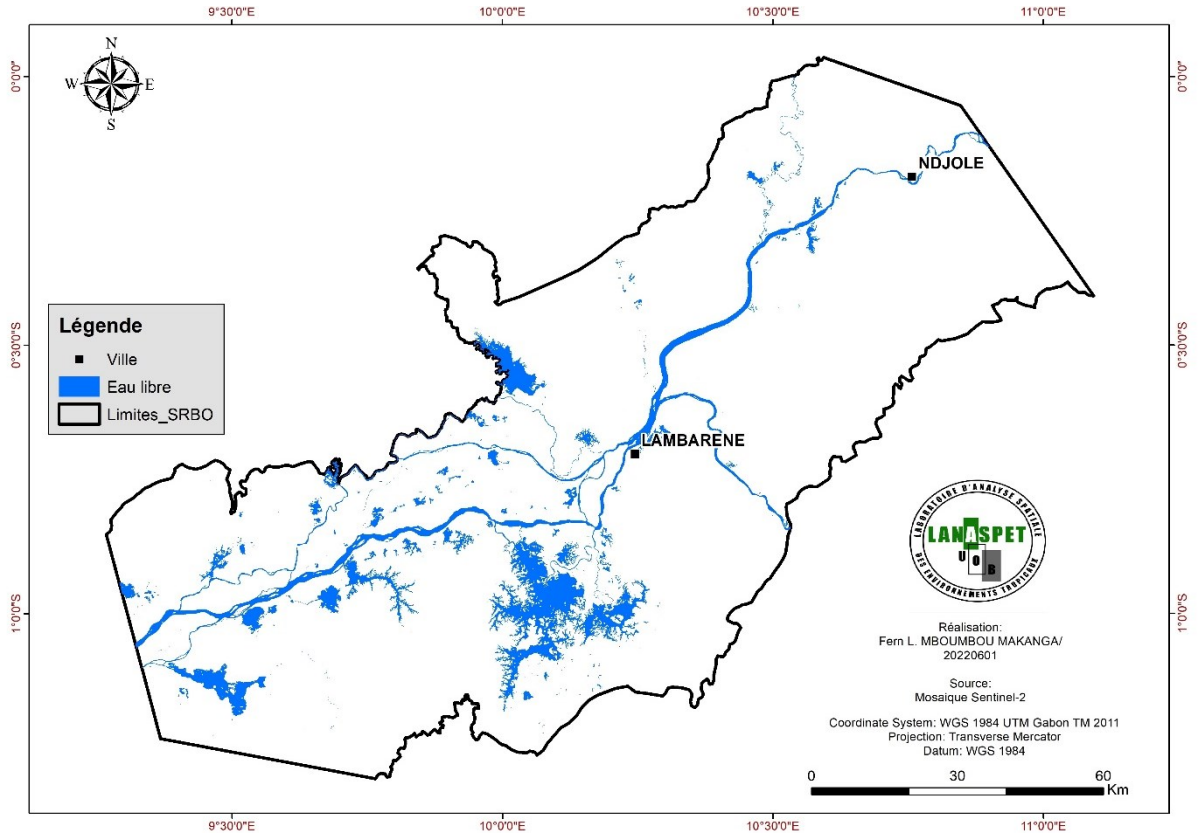



**Figure 44: Ensemble des plans d'eau tirés à partir de l'occupation des sols dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

La superficie de l'ensemble des entités hydrographiques surfaciques est évaluée à 855 km$^2$ pour 1285 entités recensées ; mares, lacs, grandes rivières et fleuve y compris (figure 45, ci-après). Par ordre de taille, l'Ogooué et ses défluents occupent la première place, avec une superficie évaluée à 255 km$^2$, soit près de 30% de la superficie des entités hydrographiques surfaciques. A côté de l'Ogooué, il y a le lac Onangué qui est le seul de la région dépassant les 100 km$^2$. Sa superficie équivaut à 144 km$^2$, soit 17% des plans d'eau. Au niveau du site Ramsar, le fleuve Ogooué et le lac Oguémoué, sans ses réservoirs connexes (lacs Ezanga et Oguémoué), occupent à eux-seuls près de 50% des plans d'eau du site.

A côté de l'Ogooué et ses bras, la Ngounié est la seule rivière a dépassé la dizaine de kilomètre carré et s'étend sur 23 km$^2$. Au niveau des réservoirs lacustres, huit d'entre eux (y compris le lac Onangué) possèdent des superficies supérieures à 10 km$^2$. Par ordre de taille, il s'agit des lacs : Onangué (165,45 km$^2$), Ezanga (59,16 km$^2$), Ovowé (58,49 km$^2$), Oguémoué (48,64 km$^2$), Azingo (55,97 km$^2$), Avanga (30,32 km$^2$), Amengamena (16,67 km$^2$) et Mandjé (12,92 km$^2$).

**Tableau 15:Lacs du site Ramsar du Bas Ogooué**

| N° | Nom de lacs | Superficie (km$^2$) |
|---|---|---|
| **1** | Onangué | 165,45 |
| **2** | Ezanga | 59,16 |
| **3** | Ovowé | 58,49 |
| **4** | Oguémoué | 48,64 |
| **5** | Azingo | 55,97 |
| **6** | Avanga | 30,32 |
| **7** | Amengamena | 16,67 |
| **8** | Mandjé | 12,92 |
| **9** | Alombiè | 10,38 |
| **10** | Nyondjé Amont | 8,21 |

Outre les réservoirs lacustres, La figure 45 ci-après donne la répartition de toutes les entités hydrographiques du site Ramsar du Bas Ogooué rangées par taille selon cinq classes.

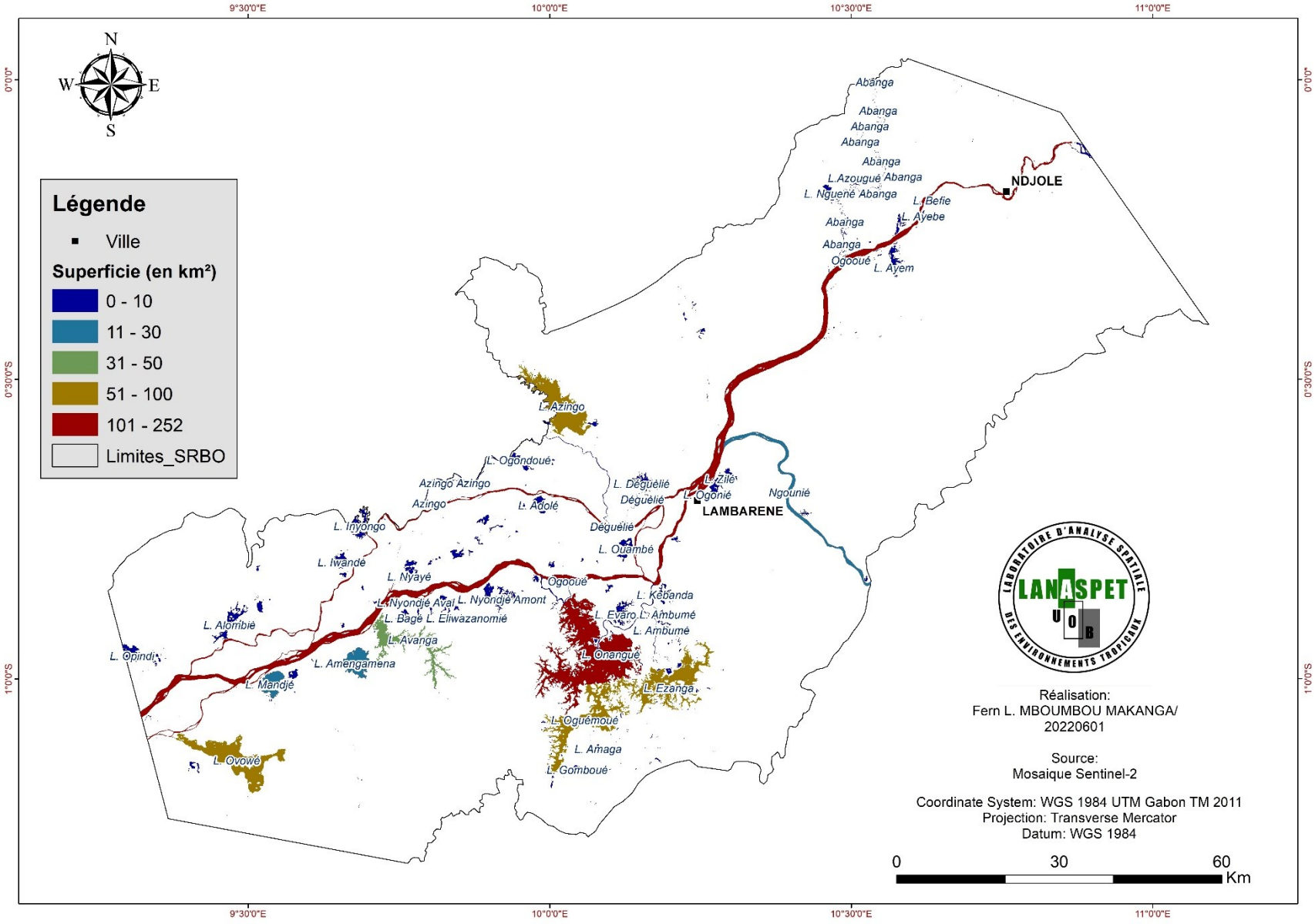



**Figure 45: Catégorisation par taille des eaux libres dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

## 5.3. Interprétation des résultats

Tout comme les autres cartes, la cartographie de l'occupation et de l'utilisation du sol n'est pas une représentation parfaite de la réalité. Elle présente toujours des erreurs qu'il est nécessaire de corriger, avant de les utiliser. Néanmoins, il est important d'avoir une idée de la précision des cartes réalisées pour s'assurer qu'elles répondent aux besoins et exigences de l'utilisateur. L'approche d'évaluation de la précision a consisté à utiliser des informations supplémentaires à celles employées dans la production de la carte. La connaissance de la précision d'un document cartographique est un élément d'intérêt, surtout lorsqu'il s'agit de la planification des aménagements ou des modélisations.

L'évaluation de la fiabilité des cartes d'occupation du sol peut être influencée par plusieurs paramètres. Au nombre de ceux-ci, on retrouve la résolution des images, la précision des observations de terrain, la précision des coordonnées géographiques des observations sur le terrain, la diversité thématique des points de contrôle et, finalement, la méthodologie de production des cartographies (Rapinel S., 2012 ; Chalifoux S. et *al.,* 2006).

Après les corrections manuelles des éléments d'occupation du sol, les résultats de l'analyse de fiabilité ont montré un accord fort avec les données collectées sur terrain. La majorité des confusions apparaissent au niveau de la classe forêt de terre ferme avec les autres forêts et la classe eau libre. En ce qui concerne les feuillus, il s'agit d'une confusion systématique, compte-tenu de la diversité pour la même classe et les longueurs d'onde souvent proches. Quant aux confusions avec la classe eau libre, elles ont souvent été constatées aux limites eau-forêts ou aux endroits où la canopée s'étend au-dessus d'une section du tronçon.

Les eaux surfaciques ont été déduites des images Sentinel 2, avec 10 bandes spectrales, adoubées d'un indice de végétation et de deux indices d'eau. La taille du site et le fort potentiel nuageux de la zone nous ont contraints à utiliser une mosaïque de plusieurs images multi dates.

L'analyse de l'occupation du sol a permis d'obtenir deux types de données. Outre l'actualisation des eaux surfaciques, nous avions pu ressortir douze autres classes d'occupation du sol, desquelles ont pu être extraits les habitats, à caractère humide.

L'avantage de disposer d'une carte d'occupation du sol est qu'elle permet d'appréhender le territoire selon une exhaustivité descriptive que nous avons renseigné, selon l'objectif visé. Elle permet, en plus, de pouvoir quantifier les différents types d'occupation et voire d'usage du sol.

Ainsi le site est dominé par les forêts denses de terre ferme, qui occupent 67% du territoire étudié. Les habitats humides, présents majoritairement au centre du site, occupent les trois rangs suivants. Dans l'ordre de grandeur, nous avons les marais et les eaux surfaciques, principalement au centre, et les forêts marécageuses qui prennent la place des marécages aux endroits où les grand cours d'eau serpentent dans la forêt. Dans l'ensemble, ils représentent environ 25 % de la superficie du site.

Les analyses menées au chapitre 5 ont également permis de produire une couche d'entités hydrographiques surfaciques actualisée et de meilleure précision. Il ressort cette étude que l'Ogooué est le principal drain du site, les documents antérieurs indiquent, du reste, que tous les cours d'eau du site le rejoignent. Si le chapitre 4 a clairement montré qu'il est le cours d'eau le plus étendu, et dispose du bassin versant le plus important, le chapitre 5, quant à lui, précise qu'il représente près de 30% de l'ensemble des eaux surfaciques de la zone d'étude. A côté de lui, le lac Onangué, sans ses réservoirs connexes (lacs Ezanga et Oguémoué), est le seul lac de la région dépassant les 100 $km^2$ constituant ainsi le plus grand lac naturel du pays. Le fleuve Ogooué et le lac Oguémoué, se partagent, à eux-seuls près de 50% des entités hydrographiques surfaciques du site.

# CHAPITRE 6 : LA DELIMITATION DES ZONES HUMIDES DANS LE SITE RAMSAR DU BAS OGOOUE

Au préalable, l'évaluation des fonctions de zones humides nécessite de les délimiter sur l'ensemble d'un territoire à une échelle de précision adaptée à l'objectif visé. Selon Rapinel S. (2021), l'échelle du 1/25 000ème est suffisante pour l'aménagement, et une échelle intra-parcellaire est nécessaire pour une démarche opérationnelle de gestion et de conservation de ces milieux.

Le présent chapitre vise donc à produire une première information pour l'aménagement de ces zones. Parmi les méthodologies conventionnellement utilisées pour délimiter les zones humides (section 3.3.2), l'approche multi-scalaire est intéressante car elle intègre aussi bien les zones humides fonctionnelles que les zones humides potentielles. Les mesures effectuées sur le terrain permettraient d'attester ou non les délimitations faites au bureau.

En complément de l'approche de terrain, les données de télédétection peuvent contribuer à la délimitation des zones humides à travers la caractérisation de la topographie et de la végétation. En ce sens, elle est complémentaire de l'approche terrain, qui reste nécessaire pour délimiter précisément les zones humides effectives. La microtopographie, le sol et la végétation sont des intégrateurs de l'hydrodynamique passée et présente et sont de bons critères de délimitation (Maltby E. et Barker T., 2009).

## 6.1. Matériel et Méthodes

### 6.1.1. Données et matériel

Le présent travail de délimitation des milieux humides et des zones conservation est le résultat de l'alternance entre travail de bureau et travail de terrain.

Au bureau, des données préexistantes ont été mises à contribution (tableau 16, ci-après). La majorité de ces données proviennent de l'Agence Nationale des Parcs Nationaux du Gabon et concerne les fichiers vecteurs de l'occupation territoriale et du réseau hydrographique. Dans un premier temps, l'ensemble de ces données a servi à dresser des cartes de bases, des supports et le guide de nos investigations de terrain., Ces mêmes données ont été par la suite confrontées, corrigées et validées par celles récoltées sur le

terrain. Les traitements des données ont été effectués à partir du logiciel ArcGis® pour la cartographie et le tableur Excel pour les calculs complexes et la construction des diagrammes.

**Tableau 16 : Données, outils et matériels utilisés au bureau**

| **Données** | | | |
|---|---|---|---|
| **Désignation** | **Source** | **Format** | **Utilité** |
| Carte d'occupation du sol du SRBO | IRD | Raster | Reconstitution du fichier source, délimitation des habitats humides,… |
| TanDem X | | Raster | Caractérisation du relief, définition des espaces de basses altitudes, calculer l'indice topographique d'humidité, etc. |
| Couche des alluvions | Direction Générale de la Géologie | Shapefile | Définir les zones de stockage des sédiments. |
| Couches d'occupation territoriales (routes, pistes, rails, villes, villages) | ANPN | Shapefile | Caractériser les types de limites des zones humides, spatialiser les barrières écologiques, les fossés d'écoulement des eaux. |
| Réseau hydrographique | ANPN | Shapefile | Identifier les espaces drainés. |
| Plan d'eau | ANPN | Shapefile | |
| Images Sentinel 2a | Copernicus | Raster | Calculer l'Indicateur de productivité nette. |
| **Outils** | | | |
| Logiciel ArcGis 10.5 | ESRI | | Cartographie et analyses spatiales. |
| Microsoft Excel 2016 | Microsoft Office | | Analyses statistiques |

Les données collectées sur le terrain ont concerné les prises de vue drone, des photos et points GPS, collectés par GPS ou par smartphone via l'application Locus Map® (tableau 17, ci-après). Les moyens de déplacements, selon les secteurs visités, ont été : soit un véhicule pour les zones accessibles par voie routière, soit une pirogue à moteur pour les secteurs fluviaux ou lacustres. Ainsi, les points GPS ont été relevés dans les zones accessibles ; tandis que les images drones ont comblées cette limite, en couvrant les zones difficilement accessibles.

**Tableau 17 : Données, outils et matériel utilisés sur le terrain**

| Données | |
|---|---|
| **Désignation** | **Utilité** |
| Points GPS | Valider le masque zone humide et l'occupation du sol |
| Prise de vue drone | Valider le masque zone humide et l'occupation du sol |
| Photographie numérique | Disposer des prises de vue |
| Outils | |
| Drone Phantom 4 | Prises de vue aériennes dans les secteurs inaccessibles |
| Locus Map | Importation des itinéraires sur les cartes |
| GPS Map Garmin 64 | Prise des points GPS |
| 2 Appareils photographiques | Prises de vue dans les secteurs accessibles |
| Matériel | |
| Véhicule Land Cruiser | Gestion de la logistique des déplacements sur la terre ferme |
| Pirogue à moteur | Gestion de la logistique des déplacements sur l'eau |

### 6.1.2. Approches pour la délimitation des milieux humides

Selon Maltby (2009), la complexité des zones humides est traitée par l'identification de fonctions distinctes pour chaque unité hydrogéomorphologique *(HydroGeoMorphic Units, HGMU)*, surface caractérisée par quatre critères associés : la topographie, l'hydrographie, la végétation et le sol (Maltby, 1994 ; Clément et *al.*, 1996).

La méthode multi-scalaire, qui n'est que la méthode *FAP* améliorée (*Functional Assessment Procedure* (procédure d'évaluation fonctionnelle), a été mise en œuvre par Rapinel S., (2012). Elle a été utilisée dans le cadre de différents projets européens (FAEWE[8], PROTOWET[9], EVALUWET[10]), pour l'évaluation fonctionnelle des zones humides. La méthode multi-scalaire a fait l'objet d'étude de bassins versant de 130 et 650 km$^2$ localisés dans l'ouest de la France, l'un servant de site test pour appliquer la démarche retenue, l'autre de site de validation.

Le complément de la méthode multi-scalaire est d'ordre technologique. En effet, elle intègre les aspects de télédétection pour suivre les dynamiques spatio-temporelles,

[8] *FAEWE : Functional Analysis of European Wetland Ecosystems (project)/*projet Analyse Fonctionnelle des Ecosystèmes des zones humides Européennes.
[9] *PROTOWET : Procedural Operationalisation of Techniques for the functional analysis Of European Wetland ecosystems* / Opérationnalisation procédurale des techniques d'analyse fonctionnelle des écosystèmes des zones humides européennes.
[10] *EVALUWET : European Valuation and Assessment tooLs sUpporting Wetland Ecosystem legislaTion* / Outils européens d'évaluation et d'évaluation en soutien à la législation sur les écosystèmes des zones humides.

limitant ainsi les sorties de terrain et permettant de couvrir de vastes espaces en quelques heures de traitement. La méthode FAP permet d'évaluer 12 fonctions hydrologiques, biogéochimiques et écologiques et se déroule en trois étapes (figure 46, ci-après).

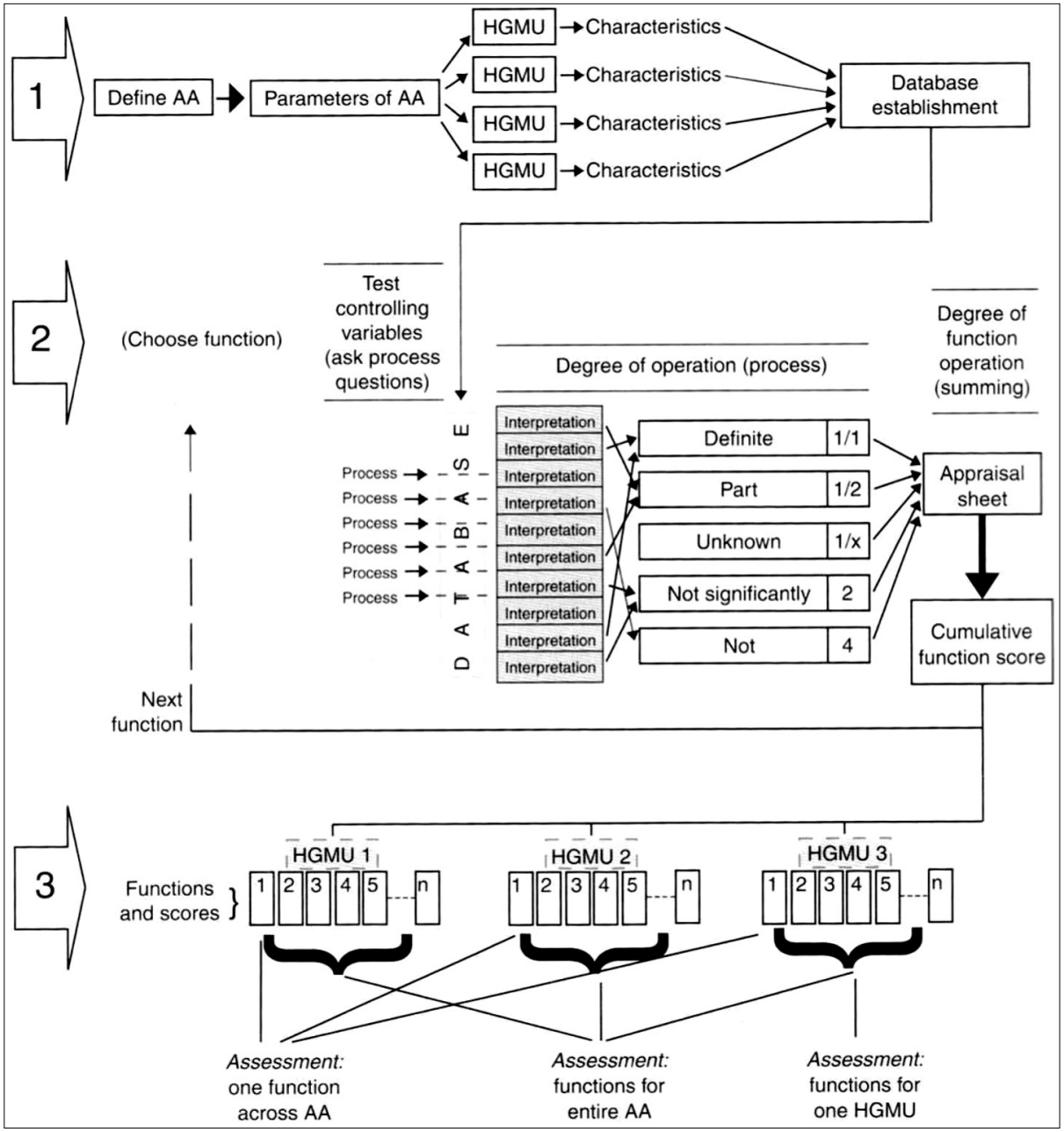



**Figure 46: Les trois étapes de la méthode FAP (Maltby, 2009), tirée de Rapinel S., 2012.**

La première étape consiste à identifier et délimiter des sites d'intérêt particulier pour les gestionnaires, dénommés « *Assessment Area* » (*AA*) ou zone d'évaluation. Une caractérisation globale des sites peut être effectuée à l'aide de documents existants (photographies aériennes, carte topographique,…) et de sorties terrains. Ensuite, un transect est réalisé sur le terrain pour chaque site, afin d'identifier les unités

hydrogéomorphologiques (HGMU) à partir de critères de géomorphologie, de végétation et de pédologie (figure 47, ci-après).

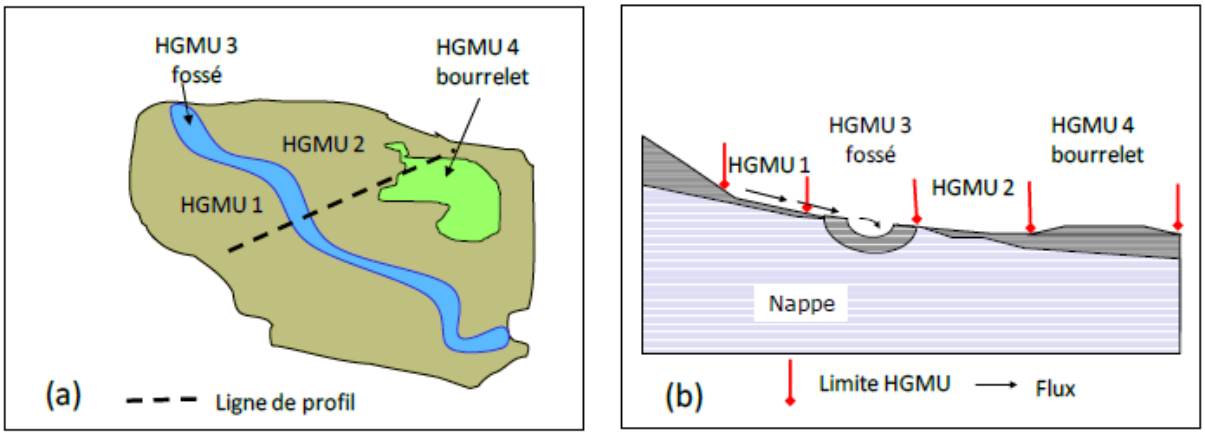



**Figure 47: Schéma théorique de délimitation des unités géomorphologiques (HGMU)**

Dans une seconde étape, l'opérateur sélectionne les fonctions à évaluer. Une série de questions/réponses qualitatives détermine l'importance des variables de contrôles qui influent-elles mêmes sur les processus. Les processus associés à chaque fonction sont combinés suivant des valeurs déterminées lors des phases de calibration. Un score, seuillé en 5 classes (entre 0-nul et 1-très fort) est obtenu pour chaque fonction et chaque unité hydrogémorphologique (HGMU).

Enfin, dans la troisième étape, un score global est attribué par site et par fonction. Les résultats issus de l'approche FAP peuvent permettre aux gestionnaires de comparer les performances des fonctions avant et après certains aménagements, et elle peut aussi être utilisée de façon prédictive (Rapinel, 2012). Cette méthode est avant tout adaptée à l'évaluation fonctionnelle d'un site, à partir des données issues, majoritairement de la télédétection. Cette approche permet de mieux prendre en compte l'hétérogénéité du milieu et la dimension spatio-temporelle.

### 6.1.3. Délimitation des HGMU et des compartiments de la zone humide

Pour la présente délimitation des zones humides, ont été utilisées les couches des écosystèmes humides issues de la classification de l'occupation des sols réalisée dans la section 5.2.1. (Caractérisation de l'occupation spatiale), la couche numérisée des alluvions de la carte géologique du Gabon, et l'indice topographique d'humidité générée à partir de

l'image radar TanDem X (Tableau 1) qui est un modèle numérique de terrain acquis par le Centre allemand pour l'aéronautique et l'astronautique. L'image TanDem X présente une précision relative de 2 mètres et une précision absolue de 10 mètres.

La première étape a consisté à définir les zones les plus basses du site, à partir de l'image TanDem X. Plutôt que de définir uniquement les zones basses, la délimitation directe des unités hydrogéomorphologiques a été faite selon trois classes : dépressions, talus et bourrelet ; la couche surface en eau a été par la suite complétée par le fichier vecteur issus de la section 5.5.2 (Entités hydrographiques de surface).

La méthode de segmentation des unités hydrogéomorphologiques a été réalisée à partir de la méthode des seuils naturels de Jenks[11] . Les classes sont déterminées par les regroupements naturels inhérents aux données. Les bornes de classes sont identifiées parmi celles qui regroupent le mieux des valeurs similaires et optimisent les différences entre les classes (ESRI, 2019).

La segmentation d'après la méthode de Jenks a ensuite subi une reclassification pour n'avoir qu'une valeur unique par unité hydrogéomorphologique. Finalement, la couche zone humide résulte donc de la superposition des couches vecteurs des habitats humides, des zones de dépression extraites sur l'image radar et la couche des alluvions issues de la carte géologique.

Cependant Mérot P. et *al*. (2006) conçoivent zone humide : potentielle, effective et efficace. Les zones humides potentielles correspondent à celles originellement humides ayant perdu ce caractère suite à des aménagements anthropiques. EIles s'opposent ainsi aux zones humides effectives, faisant référence à celles non aménagées et répondant aux critères de sol et de végétation inhérents. Enfin, la zone humide efficace correspond, quant à elle, à une fonction principale donnée (dénitrification, valeur patrimoniale, habitat,…).

[11] Méthodes de classification des données – **« Seuils naturels (Jenks) -** Avec la classification par seuils naturels (Jenks), les classes sont déterminées par les regroupements naturels inhérents aux données. Les seuils de classe sont créés de manière à optimiser le regroupement des valeurs similaires et à maximiser les différences entre les classes. Les entités sont réparties en classes dont les limites sont définies aux endroits où se trouvent de grandes différences dans les valeurs de données. Les seuils naturels sont des classifications propres aux données et ne permettent pas de comparer plusieurs cartes conçues à partir de différentes informations sous-jacentes. Cette classification repose sur l'algorithme Seuils naturels (Jenks).

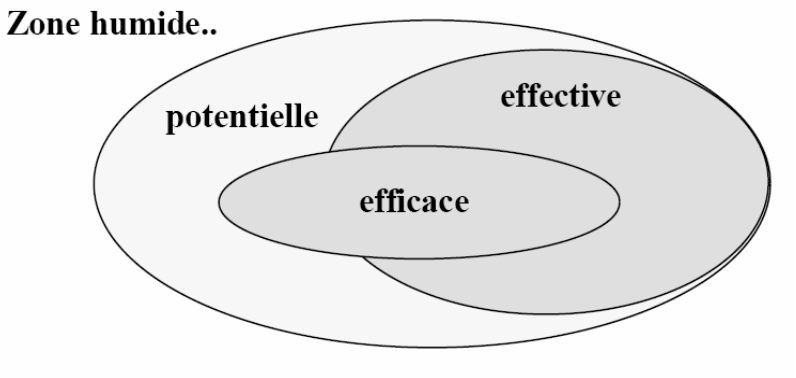



**Figure 48: Compartiments de la zone humide selon Mérot et *al.* (2006)**

Le but de notre recherche étant de définir un plan de zonage à partir des zones humides à haute valeur de conservation, une partie des zones humides potentielles a été extraite à partir de la couche « zone bâtie » de l'occupation du sol. Ainsi la définition des zones humides effectives est relative aux différentes fonctions et zones de conservation que nous aurons à définir.

## 6.2. Résultats

### 6.2.1. Délimitation des zones humides du site Ramsar du Bas Ogooué

La zone humide effective représente la zone humide encore naturelle ou celle qui n'ont pas fait l'objet d'aménagement urbain. Cette zone fait donc abstraction des zones bétonnées représentées par la couche du bâti (section 5.2.1.), dont une partie se retrouve pourtant dans la zone humide potentielle.

La zone humide effective, correspond à la zone humide qui n'a pas perdu son caractère d'humidité à cause des actions anthropiques. Il s'agit d'une zone qui fait donc abstraction des zones bétonnées représentées par la couche du bâti (section 5.2.1.).

La zone humide effective est donc le résultat du croisement des couches de type alluvions, les zones humides révélées par l'indice topographique d'humidité (TWI), mais également des couches hydrographiques et de l'occupation du sol.

L'étendue des zones humides effectives est estimée à 509 836 ha, un total bien inférieur aux zones à dominance non humide. En effet, la zone humide ne représente que 37 % du site Ramsar dans sa totalité (figure 49, ci-après).

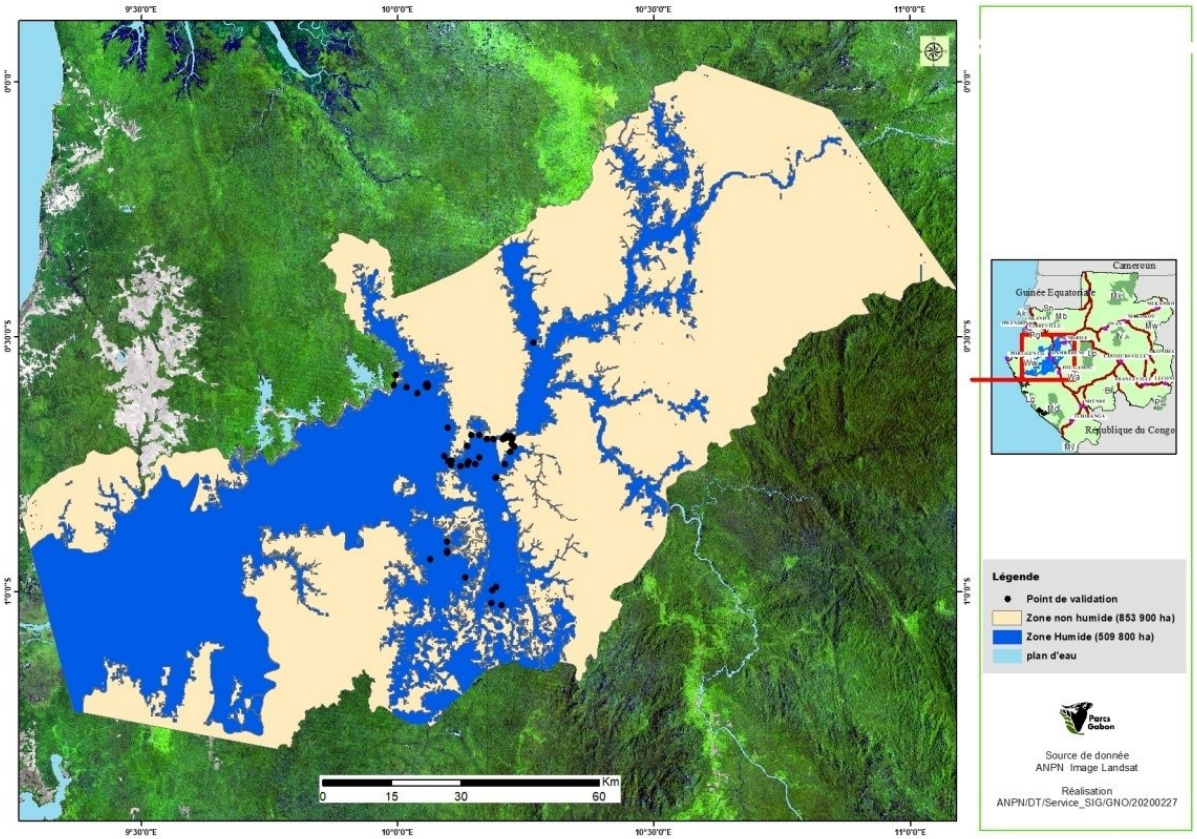



**Figure 49: Délimitation des zones humides dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

La délimitation de la zone humide effective confirme la tendance indiquée par les résultats de la classe d'occupation du sol ; à savoir que les forêts de terre ferme occupent la majorité du site Ramsar. L'ensemble des habitats humides rassemblés font à peu près la moitié de la proportion des forêts de terre ferme présentes dans le site.

La donnée relative à la zone humide a été validée à travers les points des coordonnées géographiques prises sur le terrain, les appareils GPS et Locus Map ont servi à la validation de cette cartographie. Outre la validation par points GPS et Locus Map®, les prises d'images drone avec la production des ortho-photos ont été nécessaires pour affiner le résultat. En effet, grâce aux résultats des ortho-photos, nous avons pu avoir un support pour la confirmation des zones humides et/ou non humides dans des zones qui sont difficiles d'accès (figure 50) permettant ainsi de générer les points de validation supplémentaire.

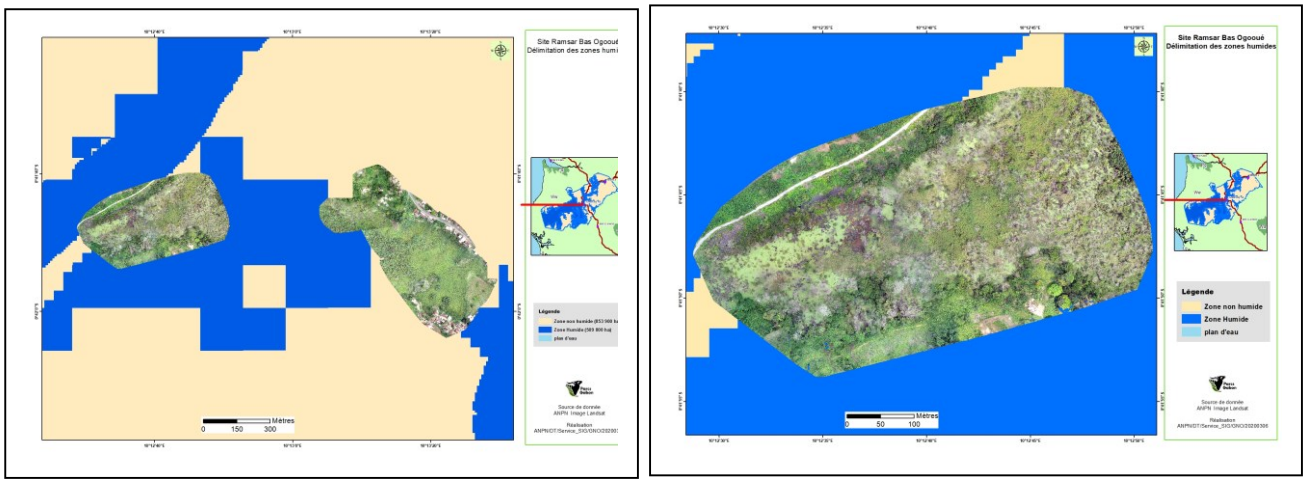


**Figure 50: Production des ortho-photos de quelques zones humides du site Ramsar Bas Ogooué**

Il ressort que notre *masque zone humide*, a été dans l'ensemble bien détecté. En effet, le calcul Kappa à partir de 170 points montre une précision de 0,74, soit une marge d'erreur de l'ordre de 0,26. En dépit des erreurs observées sur la carte d'occupation du sol, ce résultat indique que nous avions utilisé une méthode adaptée pour la délimitation des zones à dominance humide (tableau 18, ci-après).

**Tableau 18 : Résultat du calcul du coefficient Kappa**

| | **Humide** | **Non humide** | **Total** | |
|---|---|---|---|---|
| **Humide** | **113** | **15** | 128 | |
| **Non humide** | **29** | **13** | 42 | Kappa |
| Total | 142 | 28 | 170 | 0,74 |

### 6.2.2. Délimitation des unités hydrogéomorphologiques (HGMU)

L'analyse des unités hydrogéomorphologiques permet de compartimenter la zone humide selon les critères d'hydrographie et de topographie. En répartissant la zone en différentes unités nous préparons la zone humide à l'analyse des fonctions, car en réalité, les fonctions n'ont pas la même intensité, selon qu'on soit dans une dépression ou sur un talus

Les unités hydrogéomorphologiques se répartissent en quatre classes : les surfaces en eau, les dépressions, les talus et bourrelets (figure 49, ci-après). Les zones de dépression, qui constituent les zones les plus basses du site, représentent la classe majoritaire et occupent 59 % de la zone humide (Figure 49, *op. cit.*).

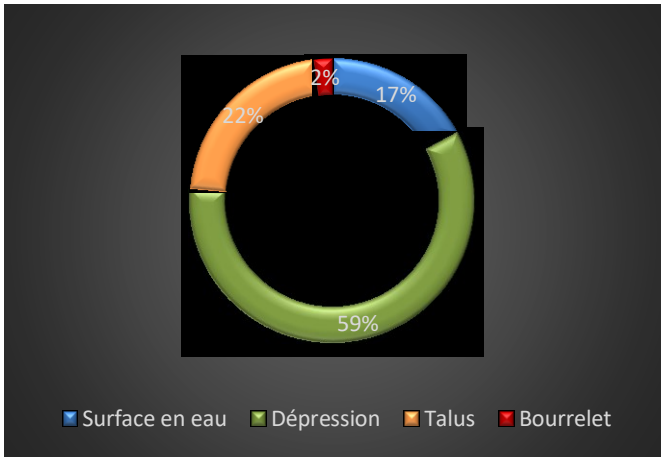



**Figure 51: Part des différentes unités hydrogéomorphologiques dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

La figure 50, ci-après indique que la configuration spatiale de ces unités hydrogéomorphologiques est typique des vallées alluviales. On observe effectivement un large plaine alluviale centrale, bordée par les zones dites de talus, qui à leur tour sont surplombés par des sommets (zones dites de bourrelets).

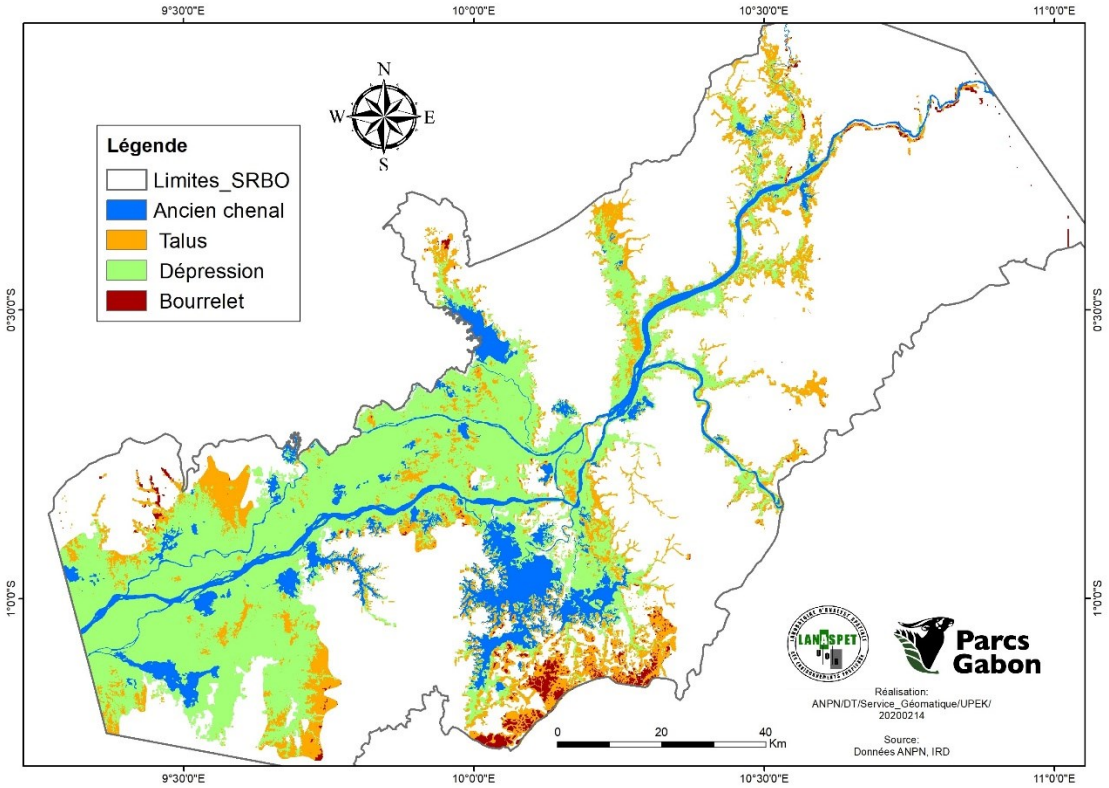



**Figure 52: Configuration spatiales des HGMU dans la zone humide du site Ramsar du Bas Ogooué**

L'analyse des unités hydrogéomorphologiques permet de prédire que les fonctions seront plus intenses dans la zone centrale de la zone humide, compte de la vaste étendue de la dépression. La présence des bourrelets et talus aux extrémités confirment la réalité

de la carte au sol qui indiques que ces milieux humides sont bordés, pour la plupart des forêts de terre ferme.

## 6.3. Interprétation des résultats

Par le canal de la télédétection, la délimitation des zones humides potentielles repose sur des critères topographiques dérivés des modèles numériques de terrain (Mérot P. *et al.*, 2003). Les MNT sont soit photo-interprétés, puis numérisés, soit traités automatiquement en calculant des indices morphométriques. Cependant, ces indices présentent plusieurs limites dues principalement à la résolution spatiale des MNT employés. Selon Sanders B. F. (2007), un MNT de plus de 50 mètres de résolution par exemple ne permet pas de délimiter les zones humides dont la largeur est inférieure à cette taille. Les données LiDAR fournissent une information topographique plus détaillée et permettent de caractériser finement la microtopographie, puisqu'à partir de ces dernières peut être produites des modèles numériques de terrain. Néanmoins ces données sont hors de portée. Même avec un drone d'une autonomie de 30 minutes pour une couverture d'environ huit hectares, il faudrait un temps infini pour couvrir un site d'un million d'hectares.

L'utilisation conjointe des données TanDem X, Sentinel 2A et de la carte géologique ont permis d'identifier globalement les zones humides potentielles à travers une approche simple de croisement de couches spatialisées. Toutefois, ces données ne permettent pas de cartographier les zones humides potentielles avec une précision supérieure au 1/10 000ème, ni de détecter les variations topographiques inférieures à 10 mètres. Les données TanDem permettent d'identifier beaucoup plus précisément les zones humides potentielles que les données utilisées classiquement avec les images SRTM *(Shuttle Radar Topography Mission)*. De plus la donnée TanDem X a été, au préalable normalisée, non pas par rapport au niveau de la mer, mais par rapport aux cours d'eau existants. Cette correction permet d'affiner les fonds de vallées, et ainsi de mieux identifier les zones humides, aussi bien sur des petites vallées que sur de vastes plaines alluviales.

En effet, les données utilisées classiquement ont une résolution spatiale horizontale et verticale insuffisante, pour délimiter les zones humides potentielles avec une précision supérieure au 1/100 000ème. L'enveloppe des zones humides potentielles est surestimée, puisqu'elle englobe les bas de versants et les bourrelets alluviaux qui sont rarement

humides. Cependant, ces données sont facilement accessibles pour les gestionnaires et ont une couverture nationale du territoire d'où leur intérêt dans le cadre de démarches d'inventaires.

Les résultats obtenus montrent que la méthode développée ici est adaptée et validée pour la détection de zones humides de bas-fonds de vallées. Il serait intéressant de tester cette méthode dans d'autres contextes, comme ceux des zones humides de plateaux ou de pentes. Certes la méthode utilisée permet de délimiter correctement les zones humides potentielles au 1/10 000ème. En revanche, la photo-interprétation du MNT aux échelles fines pose des difficultés de repérage des fonds de vallées, ou des bourrelets alluviaux, dues aux variations permanentes des critères d'interprétation.

La caractérisation au 1/10 000ème de l'occupation des sols a été effectuée par photo-interprétation, afin de détecter les zones humides dégradées (surfaces bâties, terres arables, plans d'eau) au sein de l'enveloppe des zones humides potentielles. Une caractérisation plus fine de la végétation serait possible à partir de l'utilisation de données de télédétection ou images satellitaires à très haute résolution spatiale THRS (Lopez-Ornelas **E. et** Sedes F., 2007), et permettrait ainsi de délimiter avec précision les zones humides effectives. En l'absence de relevés terrain, nous n'avons pu valider statistiquement la précision de l'interprétation des photographies aériennes. Si dans l'ensemble, l'indice de confiance est élevé, des confusions sont possibles entre les prairies humides et certaines cultures ou prairies non humides.

*La méthode multi-scalaire a permis à ce niveau de créer la zone humide effective du site Ramsar Bas Ogooué. Les 37% qu'elles recouvrent sont largement inférieurs aux pourcentages des forêts de terres fermes dans le site. Cet état des lieux pousse à s'interroger sur les limites actuelles, quand on sait qu'elle couvre majoritairement des écosystèmes de terres fermes au détriment de delta inférieur de l'Ogooué*

*A l'intérieur de la zone humide, les unités hydrogéomorphologiques ont aussi été délimitées pour préparer l'étude fonctionnelle. Ces dernières se répartissent en quatre classes : les dépressions, les talus, les bourrelets et les eaux surfaciques.*

*La configuration spatiale de ces unités hydrogéomorphologiques est typique des vallées alluviales. En effet, le site Ramsar du Bas Ogooué est caractérisé par une large plaine alluviale centrale, bordée par les zones dites de talus qui, à leur tour, sont surplombés par des sommets (zones dites de bourrelet).*

*Enfin l'étendue des zones humides est estimée à 5 098 km², une représentativité d'environ 22% de l'ensemble du site Ramsar. Les zones de dépression, qui sont les plus basses du site, représentent la classe majoritaire et occupent 59 % de la zone humide.*

# TROISIEME PARTIE : DE L'EVALUATION FONCTIONNELLE DES ZONES HUMIDES AU ZONAGES DU SITE RAMSAR DU BAS OGOOUE ?

Cette partie fait état des aspects d'analyse d'adéquation et d'inadéquation des activités actuelles de zonage et des outils de gestion envisageables, afin d'optimiser l'utilisation rationnelle des zones humides. En effet, compte-tenu de leur importance socio-économique et environnementale, il faudrait que les zones humides dirigent les affectations ou soient prisent en compte dans les diverses affectations de l'espace.

Aussi, les résultats des observations et analyses mettent-ils en évidence les différentes zones de conservation. Ces zones de conservation se répartissent sur l'ensemble du site Ramsar et ont été identifiées à travers les fonctions écologiques, la diversité des espèces critiques et les services rendus. Ces sites sont prédestinés à être ériger en zones centrales pour maintenir les processus bioécologiques.

A la fin de cette partie, nous proposons un plan d'aménagement durable qui prend en compte l'hétérogénéité des activités et de l'utilisation de l'espace. Les affectations s'organisent autour des zones humides, tout en adoptant des modes de protection ou d'utilisation durable de ces zones.

# CHAPITRES 7 : EVALUATION FONCTIONNELLE DES ZONES HUMIDES

Plusieurs études ont permis de mesurer et de comprendre le fonctionnement des zones humides dans le temps et l'espace (Maltby et al., 1996 ; MBOUMBOU MAKANGA, 2018, Nguyen et al, 2018). S'il est avéré que les zones humides ont des fonctions hydrologiques, biogéochimiques et écologiques, cependant, l'intensité des processus fonctionnels est soumise à une variabilité spatio-temporelle difficile à appréhender (Rapinel S., 2012). En effet, des programmes de recherche tels que PROTOWET ou EVALUWET ont démontré que l'intensité d'une fonction est la même au sein d'entités ayant un hydrodynamique homogène

La méthode FAP, destinée aux gestionnaires, permet, à partir de la combinaison d'observations sur le terrain (sols, relief, végétation,) de délimiter les unités hydrogéomorphologiques et d'évaluer une ou plusieurs fonctions à l'échelle d'un site (Maltby, 2009). Néanmoins, Si cette procédure permet de mener une évaluation fine sur quelques parcelles, la collecte d'informations à partir d'observations de terrain paraît difficilement applicable sur plusieurs centaines de $km^2$ et ne permet pas d'appréhender des processus fonctionnels sur l'ensemble du site.

Selon l'approche multi-scalaire, les couches d'informations détaillées et spatialisées sur l'occupation du sol, le réseau hydrographique ou encore la microtopographie, qui ont été dérivées des données de télédétection sur l'ensemble du site, apparaissent comme une alternative intéressante aux observations de terrain. L'objectif de ce chapitre est de procéder à l'évaluation des processus fonctionnels des zones humides. Après avoir énuméré la méthodologie générale, nous commenterons les différents résultats obtenus lors de ce processus.

## 7.1. Matériel et méthodes

### 7.1.1. Définition et analyse des descripteurs

Les fonctions potentielles des zones humides ont été évaluées à partir de descripteurs dérivés des données cartographiques existantes, et obtenues par un traitement automatique des données cartographiques et de télédétection. Les tableaux 19 et 20, ci-après, présentent les indicateurs linéaires et surfaciques utilisés.

**Tableau 19: Descripteurs linéaires**

| INDICATEUR ÉLÉMENTAIRE LINÉAIRE | DÉFINITION (UNITÉ) |
|---|---|
| Présence/absence de grands fossés | Carte binaire (0, 1) des HGMU |
| Densité du réseau de drainage | Longueur totale du réseau de drainage / superficie de l'HGMU ($m/m^2$) |
| Densité des grands drains et des fossés de bord de routes | Longueur totale des grands drains et des fossés de bord de routes/superficie de l'HGMU ($m/m^2$) |
| Rapport longueur de la zone humide/longueur de contact versant | Longueur de la zone humide/longueur de contact entre la zone humide et le versant |
| Longueur de contact entre la zone humide et le versant par type de linéaire | Intérêt du type de contact entre la zone humide et le versant pour une diffusion lente des transferts hydriques. |
| Densité des éléments boisés | Superficie des éléments boisés/Superficie de l'HGMU ($m/m^2$) |
| Densité des routes | Superficie des routes/Superficie de l'HGMU ($m/m^2$) |
| Connectivité des éléments boisés | Indice de proximité |
| Connectivité des routes | Indice de proximité |

Source : Rapinel S., 2012

**Tableau 20: Descripteurs surfaciques**

| INDICATEUR ÉLÉMENTAIRE SURFACIQUE | DÉFINITION (UNITÉ) |
|---|---|
| La micro topographie | Volume de stockage en eau potentiel par HGMU ($m^3$) |
| Rapport entre l'aire de la zone humide et l'aire de la zone contributive | Superficie du site/Superficie de la zone contributive |
| L'indice topographique d'humidité | Moyenne de l'indice sur l'HGMU |
| Rugosité de la végétation | Intérêt moyen par HGMU de la rugosité de la végétation vis-à-vis de l'écrêtage de crue |
| Densité des surfaces en eau et des systèmes humides de bas-fonds. | Superficie totale des surfaces en eau et systèmes humides de bas-fonds / superficie de l'HGMU |
| Transpiration de la végétation | Intérêt moyen par HGMU de la transpiration de la végétation vis-à-vis du soutien aux étiages |
| Irrigation | Irrigation moyenne par HGMU |
| Densité de la végétation de type hydromorphe avéré | Superficie totale de la végétation de type hydromorphe / Superficie HGMU |
| Indicateur de productivité nette | Moyenne de l'indice NDVI par HGMU |
| Mode de gestion des prairies | Intérêt moyen par HGMU du mode de gestion des prairies vis-à-vis de la dénitrification |
| Composition de l'occupation du sol et des types de végétation | Indice Patch Richness Density |
| Configuration de l'occupation du sol et des types de végétation | Indice de Shannon |
| Durée d'inondation | Nombre de mois d'inondation |

Source : Rapinel S., 2012

Les fonctions des zones humides ont été évaluées à l'aide d'une approche multicritère. L'approche multicritères a été effectuée à partir de données rastérisées, sous l'environnement ArcGis®. L'analyse à partir de données raster, c'est-à-dire d'images, a fait l'objet de nombreux travaux qui ont permis de répondre à des enjeux environnementaux (Chen G. *et al.*, 2001 ; Passuello *et al.*, 2012 ; Ipinda Tongo B., 2018). Dans un premier temps, les descripteurs élémentaires sont calculés sous SIG à partir des données vectorielles disponibles. Dans un second temps, les descripteurs élémentaires exprimés par HGMU au format vectoriel sont rastérisés. Pour conserver l'échelle de précision des données d'entrées (cartographie des HGMU), la rastérisation s'est faite avec une résolution spatiale de 10 m. Cette résolution nous a paru le meilleur compromis entre l'échelle de précision et la taille des fichiers standardisés.

Enfin, chaque unité hydrogéomorphologique s'est vue attribuer un score global, pour chaque processus fonctionnel, correspondant à la moyenne des valeurs des indicateurs fonctionnels. Chaque site obtient ainsi un score global pour chaque fonction correspondant à la moyenne des valeurs des processus fonctionnels pondérée par la superficie de chaque unité hydrogéomorphologique qui le compose. Les scores ont été seuillés en cinq classes d'intervalles égaux. Chaque classe correspond à un intérêt pour un indicateur, ou un processus fonctionnel donné. Ensuite, des indicateurs fonctionnels ont été calculés par la moyenne des descripteurs.

### 7.1.2. Application aux fonctions écologiques

#### *7.1.2.1. Application à la fonction écrêtage de crue*

La fonction écrêtage des crues est garante de la réduction du débit des cours d'eau par une décharge et un maintien de volume d'eau dans la zone humide. Les descripteurs et indicateurs fonctionnels pris en compte pour l'évaluation de la fonction « Écrêtage de crue » sont indiqués dans le Tableau 21, ci-après. Cette fonction est évaluée par le croisement de trois indicateurs fonctionnels : le « Volume de stockage potentiel », « l'hydrodynamique interne » et « le contrôle anthropique des niveaux d'eau ». Le « volume de stockage potentiel » correspond au volume d'eau pouvant être stocké lors d'un épisode de crue. La standardisation du descripteur « micro-dépressions » est de type linéaire et croissante. En effet, plus la quantité d'eau pouvant être stockée est importante, plus l'intérêt pour la

fonction « Écrêtage de crue » augmente. Le contrôle anthropique des niveaux d'eau est évalué par l'analyse des images Landsat 7 et 8 en saisons de pluie, de 2010 à 2020.

**Tableau 21: Indicateurs utilisés pour évaluer la fonction écrêtage des crues**

| Indicateur fonctionnel | Descripteur | Échelle | Standardisation | Type |
|---|---|---|---|---|
| **Volume de stockage potentiel** | Micro-dépression | HGMU | Linéaire | Croissante |
| | Aire contributive de la zone humide (CA)/ aire du site (AA) | AA | Linéaire | Décroissante |
| **Hydrodynamique interne** | Indice CTI | HGMU | Linéaire | Croissante |
| | Présence/Absence de grands fossés | AA | Linéaire | Croissante |
| | Rugosité végétation | HGMU | Linéaire | Croissante |
| | Densité des surfaces en eau, et systèmes de bas-fonds (friches humides) | HGMU | Linéaire | Croissante |
| **Contrôle anthropique des niveaux d'eau** | Fréquence d'inondation sur dix ans | HGMU | Linéaire | Croissante |

HGMU : unité hydrogéomorphologique ; AA : *Assessment Area* (zone d'évaluation)
Source : Rapinel S., 2012

### *7.1.2.2. Application à la fonction soutien aux étiages*

Ici le « Soutien aux étiages », traite de la restauration progressive par la zone humide d'une partie des volumes d'eau vers le cours d'eau en période d'étiage. Les descripteurs et indicateurs fonctionnels pris en compte pour l'évaluation de la fonction « Soutien aux étiages » sont indiqués dans le Tableau 22, ci-après. Cette fonction est évaluée par le croisement de trois indicateurs fonctionnels : le « Volume de stockage potentiel », l'« Hydrodynamique interne » et le « Contrôle anthropique des niveaux d'eau ».

**Tableau 22: Indicateurs utilisés pour évaluer la fonction « soutien aux étiages »**

| Indicateur fonctionnel | Descripteur | Echelle | Standardisation | Type |
|---|---|---|---|---|
| Volume de stockage potentiel | Micro-dépression | HGMU | Linéaire | Croissante |
| Hydrodynamique interne | Aire contributive de la zone humide (CA)/ aire du site (AA) | AA | Linéaire | Décroissante |
| | Densités des surfaces en eau et systèmes humides de bas-fonds (friches humides, prairies humides | HGMU | Linéaire | Croissante |
| | Infiltration (pas pris en compte) | HGMU | Linéaire | Décroissante |
| | Transpiration de la végétation | HGMU | Linéaire | Décroissante |
| | Irrigation | HGMU | Linéaire | Décroissante |
| Contrôle des niveaux d'eau | Fréquence d'inondation sur dix ans | HGMU | Linéaire | Décroissante |

Source : Rapinel S., 2012

L'indicateur « Hydrodynamique interne » est obtenu par croisement de quatre descripteurs : la « Densité du réseau de drainage », la « Densité des surfaces en eau et des systèmes humides de bas-fonds », la « Transpiration de la végétation » et l'« Irrigation ». Le descripteur « Densité du réseau de drainage » est standardisé de façon linéaire décroissante. Plus la densité est dense, plus l'eau est évacuée rapidement. Néanmoins, faute de données disponibles, pour la présente recherche, les descripteurs « Infiltration » et « Fréquence d'inondation par an » n'ont pas été pris en compte.

### *7.1.2.3. Application à la fonction dénitrification*

Le terme de « Dénitrification potentielle » sous-entend la réaction biochimique de transformation des nitrates en azote par les bactéries. Les descripteurs et indicateurs fonctionnels pris en compte pour l'évaluation de la fonction sont indiqués dans le Tableau 23, ci-après. Cette fonction est évaluée à partir de six indicateurs : la « Densité d'éléments linéaires », le « Rapport longueur de la zone humide/longueur de contact avec le versant », le « Type de linéaire en contact avec le versant », l'« Hydromorphie des sols », l'« Indicateur de productivité nette » et le « Mode de gestion des prairies ».

**Tableau 23: Indicateurs utilisés pour évaluer la fonction « dénitrification potentielle »**

| Indicateur fonctionnel | Descripteur | Echelle | Standardisation | Type |
|---|---|---|---|---|
| Densité d'éléments linéaires | Densité des petits fossés hors bords de route | HGMU | Linéaire | Croissante |
| | Densité des grands fossés et de fossés de bords de route | HGMU | Linéaire | Décroissante |
| Rapport longueur de la zone humide/ longueur de contact du versant | Rapport longueur de la zone humide/ longueur de contact du versant | Tronçon | Linéaire | Décroissante |
| Type de linéaire en contact avec le versant | Longueur de contact entre la zone humide et le versant par type de linéaire | AA | Linéaire | Croissante |
| Hydromorphie des sols (indicateurs) | Densité de marécages ouverts | HGMU | Linéaire | Croissante |
| | Densité des friches humides | HGMU | Linéaire | Croissante |
| Indicateur de productivité nette | NDVI | HGMU | Linéaire | Croissante |

Source : Rapinel S., 2012

L'indicateur « Densité d'éléments linéaires » est obtenu par l'association de deux descripteurs : la « Densité des petits fossés hors-bord de route » et la « Densité des grands fossés et petits fossés de bord de route ». Le premier descripteur est standardisé de façon croissante, alors que le second l'est de façon décroissante. En effet, la dénitrification est la plus efficace dans la zone d'interface aérobie/anaérobie. La présence de fossés non entretenus avec la présence d'eau stagnante favorise le processus de dénitrification. A l'inverse, les grands fossés et les fossés de bord de route favorise un écoulement rapide, réduisant ainsi le processus de dénitrification.

#### *7.1.2.4. Application à la fonction habitat*

La notion « d'habitat » développée ici renvoie à l'habitat d'espèces, qui est le lieu de vie et de reproduction à dimension variable selon les saisons. La fonction « Habitat potentiel », sans prise en compte de l'indicateur « Durée d'inondation printanière », renvoie à la première définition. En revanche, la fonction évaluée ici renvoie à la notion d'habitat d'espèces des milieux humides. Les descripteurs et indicateurs fonctionnels pris en compte pour l'évaluation de la fonction « Habitat potentiel » sont indiqués dans le Tableau 24, ci-après. Cette fonction est évaluée à partir de la combinaison de cinq indicateurs fonctionnels

que sont : la « Densité des éléments linéaires », la « Connectivité des éléments linéaires », la « Composition de l'occupation du sol », la « Configuration de l'occupation du sol » et la « Durée d'inondation printanière ».

**Tableau 24: Indicateurs utilisés pour évaluer la fonction « habitat potentiel »**

| Indicateur fonctionnel | Descripteur | Échelle | Standardisation | Type |
|---|---|---|---|---|
| Densité d'éléments linéaires | Densité des cours d'eau et grands fossés | HGMU | Linéaire | Croissante |
| | Densité des fossés à écoulement temporaire | HGMU | Linéaire | Croissante |
| | Densité des éléments boisés | HGMU | Linéaire | Croissante |
| | Densité des routes et voies ferrées | HGMU | Linéaire | Décroissante |
| Composition de l'occupation du sol | Indice PRD | HGMU | Linéaire | Croissante |
| Configuration de l'occupation du sol | Indice de diversité de Shannon | HGMU | Linéaire | Croissante |
| Connectivité des éléments linéaires | Indice de connectivité des éléments boisé | HGMU | Linéaire | Croissante |
| | Indice de connectivité des routes et voies ferrées | HGMU | Linéaire | Décroissante |
| Durée d'inondation printanière | Durée d'inondation printanière | HGMU | Linéaire | Croissante |

Source : Rapinel S., 2012

Les notions de trames vertes et bleues sont abordées à travers les deux premiers indicateurs fonctionnels. L'indicateur « Densité d'éléments linéaires » est obtenu par le croisement de quatre descripteurs que sont : la « Densité des cours d'eau et grands fossés », la « Densité des fossés à écoulement temporaire », la « Densité des éléments boisés », et la « Densité des routes et voies ferrées ». Tous ces descripteurs ont été standardisés de façon linéaire et croissante, à l'exception de la « Densité des routes et voies ferrées » qui l'a été de façon décroissante.

Le second indicateur est la « Connectivité des éléments linéaires » obtenus à partir du croisement de deux descripteurs que sont : la « Connectivité des éléments boisés » et la « Connectivité des routes et voies ferrées ». Le premier descripteur est standardisé de façon linéaire et croissante, alors que le second l'est de façon décroissante. En effet, la « Connectivité des éléments boisés » favorise les déplacements d'espèces animales, alors que la « Connectivité des routes et voies ferrées » créée un effet barrière.

Le troisième indicateur est la « Composition de l'occupation du sol » dérivé de l'indice « *Patch Richness Density* » (patch richesse densité). Le quatrième indicateur est la « Configuration de l'occupation du sol » obtenue à partir de l'indice de diversité Shannon. Ces deux descripteurs sont standardisés de façon linéaire et croissante : plus les indices *Patch Richness Density* (PRD) et de Shannon sont élevés, plus le potentiel de la fonction « Habitat » augmente. Enfin, le cinquième et dernier indicateur est la « Durée d'inondation printanière », c'est-à-dire entre les mois de février et juin. La durée d'inondation à cette période favorise la nidification des oiseaux d'eau et, aussi, la reproduction de certaines espèces.

## 7.2. Interprétation des résultats

### 7.2.1. Evaluation des descripteurs

#### *7.2.1.1. Les fossés d'écoulement*

Les fossés d'écoulement sont issus des couches hydrographiques présentées aux quatrième et au cinquième chapitre (figure 53, ci-après). De même, si les grands fossés ont été extraits à partir des images Sentinel 2, les fossés d'écoulement linéaire ont été générés à partir de l'image TanDem X.

Tous les fossés sont des conduites naturelles ou des aménagements qui ont eu ou qui ont encore pour fonction essentielle d'évacuer l'eau en excès d'un site où celle-ci n'est pas naturellement évacuée, notamment en zone humide. Un fossé n'est pas un attribut naturel d'une zone humide ; mais il est devenu un élément essentiel de la gestion de l'eau au sein de la zone humide.

La détection de la présence des grands fossés permet d'évaluer la rétention de l'eau. Ils assurent l'entrée ou la sortie rapide de l'eau dans la zone humide. Les grands fossés participent aux principaux transferts entre la rivière et les zones humides et jouent donc un rôle important dans la dynamique des crues.

La détection de la présence des petits fossés permet d'évaluer aussi la rétention de l'eau car la dénitrification est un processus favorisé par la stagnation de l'eau. Effet, une évacuation trop rapide diminue l'efficacité de ce processus, puisque c'est le long des petits fossés d'eau stagnante que la dénitrification est la plus efficace.

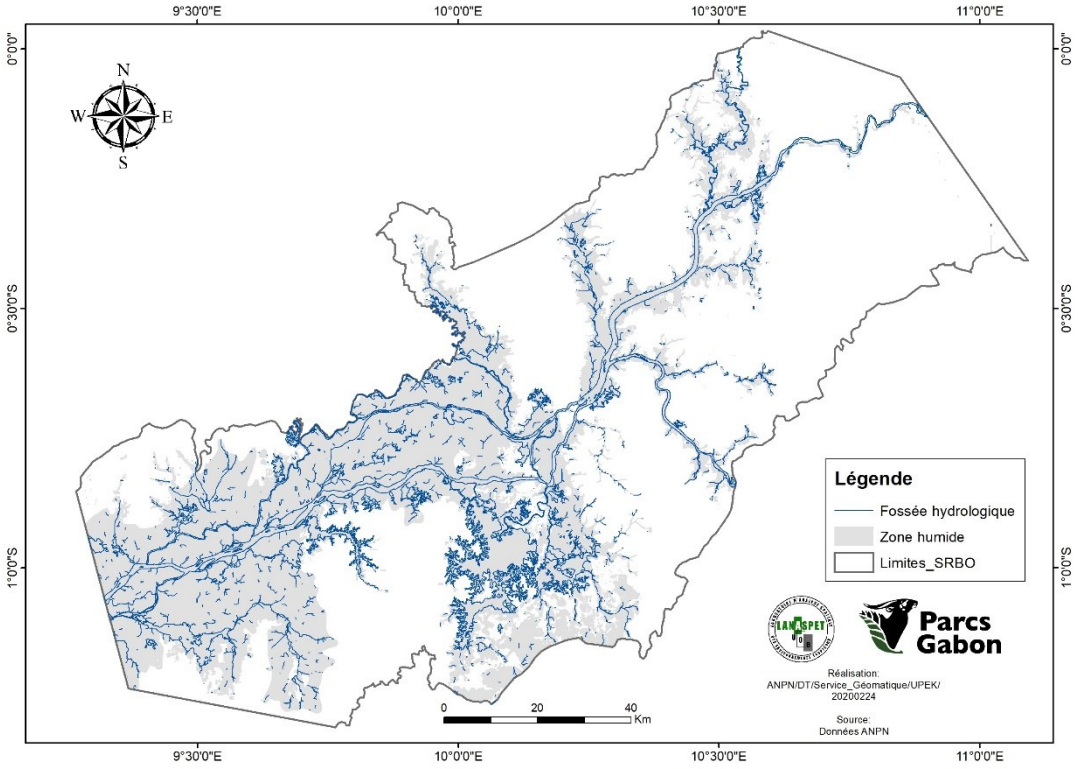



**Figure 53 : Fossés d'écoulement dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

Le Site Ramsar du Bas Ogooué totalise 6290 km de longueur de fossés d'écoulement dont 1731 km pour les fossés d'écoulement temporaires. La concentration la plus importante des fossés d'écoulement se rencontre majoritairement dans les régions lacustres (figure 54, ci-après).

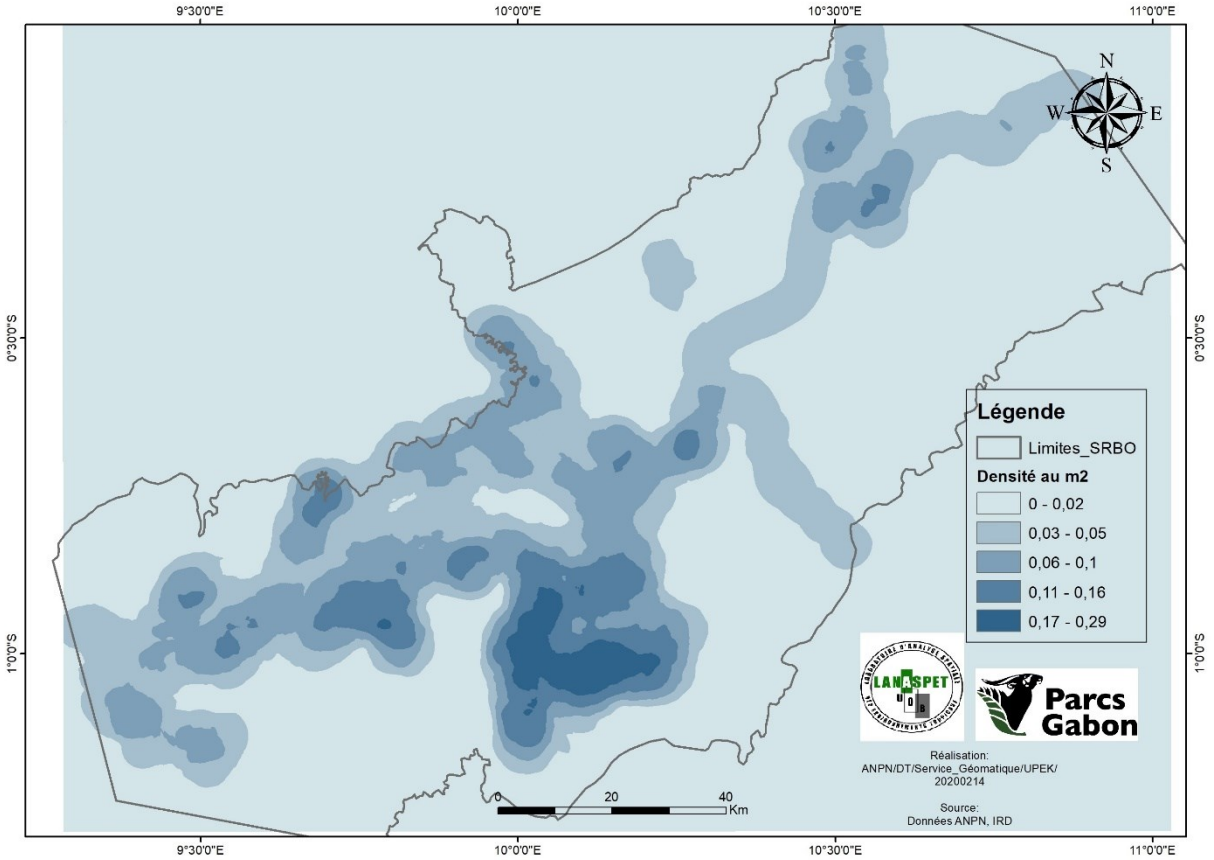



**Figure 54: Densité des fossés d'écoulement dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

### *7.2.1.2. Éléments boisés*

La forêt est un écosystème naturel complexe, réputée pour abriter une multitude d'organismes vivants : arbres, autres végétaux, animaux de toutes tailles dans des milieux très diversifiés (sols, climats, eau). À titre d'exemple, on dénombre 4 principaux types de forêt : la forêt dense, la forêt dégradée et les forêts marécageuses ouvertes et fermées.

La forêt est un élément essentiel dans l'évaluation de la biodiversité d'un site (fonction habitat). En effet, il s'agit de l'un des réservoirs de carbone les plus importants de la planète. De plus, les forêts jouent un rôle central contre le changement climatique, en absorbant les gaz à effets de serre (GES) et en renforçant la résilience des paysages : régulation des flux, maintien et enrichissement des sols pour l'agriculture, protection des communautés côtières contre les événements climatiques extrêmes et l'élévation du niveau de la mer, ou encore création de couloirs migratoires pour les espèces animales et végétales (Banque Mondiale, 2016).

Les éléments boisés occupent 263 000 ha de la zone humide du site Ramsar du Bas Ogooué, soit près de 52% de sa superficie. Dans l'ordre de grandeurs, les éléments boisés

du site se répartissent ainsi : la forêt dense (60 %), les forêts marécageuses (30 %) et la forêt dégradée (10%). Ce constat reflète à suffisance, le caractère quasi-intact des zones humides dans le site (tableau 25, ci-après).

**Tableau 25 : Part des éléments boisés dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

| Type de forêt | Superficie (ha) | Part (en %) |
|---|---|---|
| Forêt dégradée | 26817 | 10% |
| Forêt dense | 157778 | 60% |
| Forêt marécageuse fermée | 30624 | 12% |
| Forêt marécageuse ouverte | 47834 | 18% |
| TOTAL | **263053** | **100%** |

**Source : Fern MBOUMBOU MAKANGA, 2021**

Comme en témoigne les figures 55 et 56, ci-après, la répartition des éléments boisés n'est pas homogène sur l'ensemble du site. En effet les régions centrales et méridionales abritent la plus grande concentration d'éléments boisés. Au nord les plus grandes concentrations sont dans les zones de l'Abanga et du lac Ayem. Au centre il s'agit de la région les lacs Evaro, Onangué, Ezanga et Oguémoué et celle des interfluves Azingo-Deguelié, Ogooué-Deguelié.

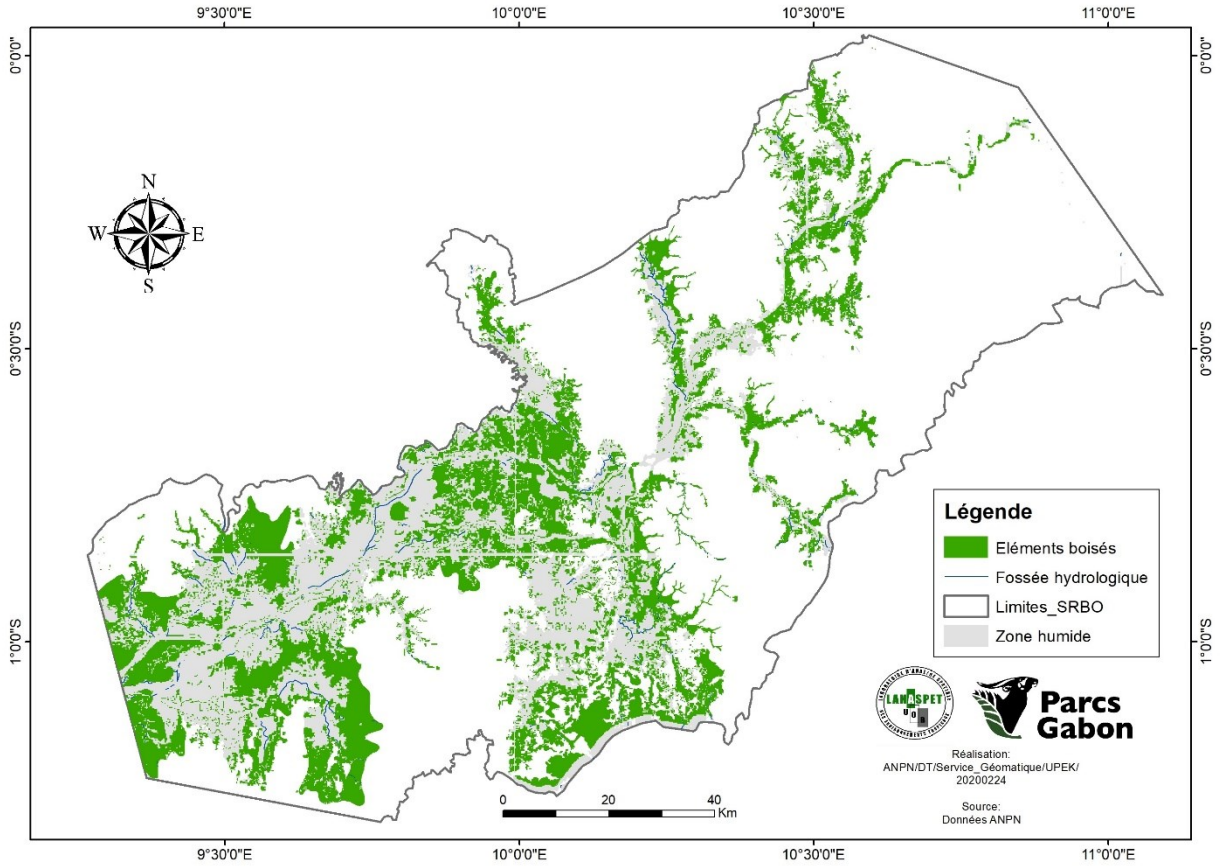



**Figure 55 : Répartition des éléments boisés dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

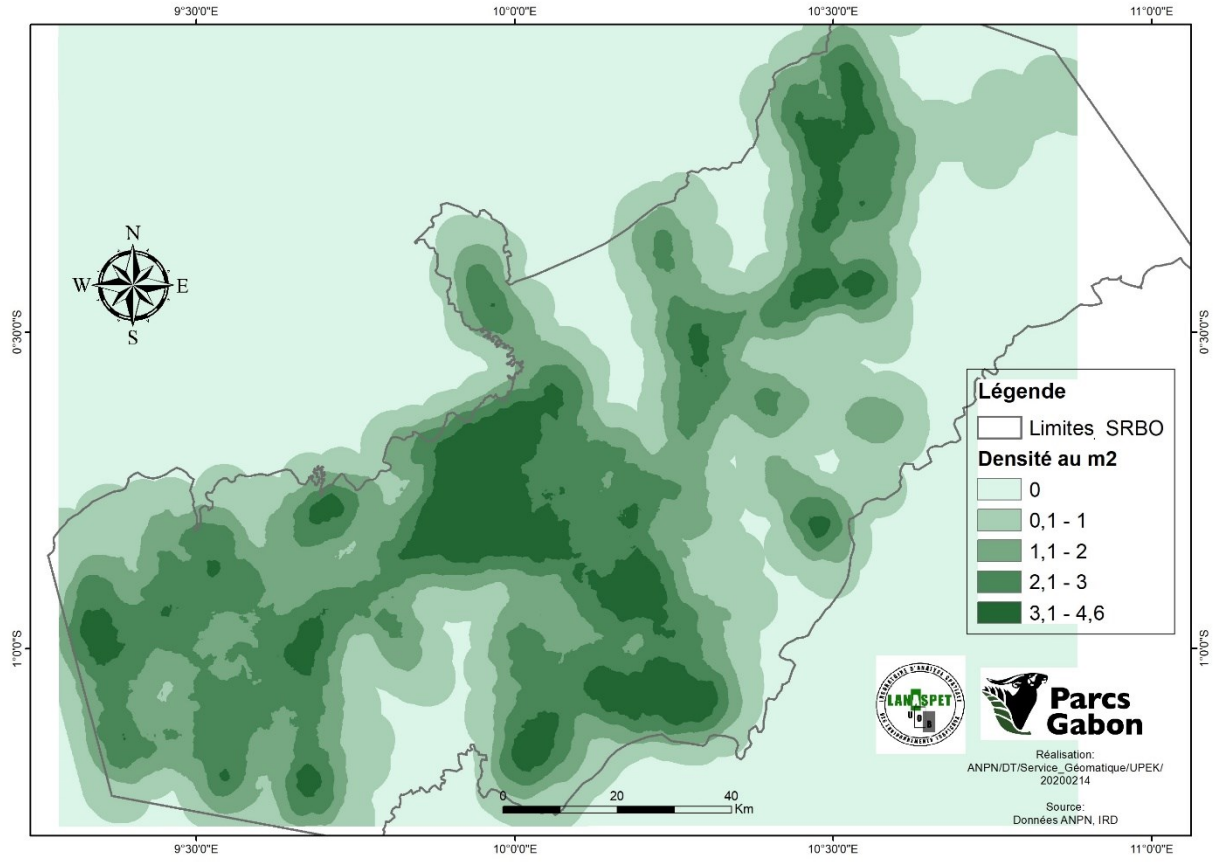



**Figure 56 : Densité des éléments boisés dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

*7.2.1.3. Le réseau de routes et voies ferrées*

Le réseau de routes et voies ferrées agit comme une barrière écologique vis-à-vis du déplacement des espèces animales et par conséquent son extension limite la biodiversité. Parallèlement, la juxtaposition des routes au réseau de fossés d'écoulement est un indicateur d'un transfert rapide des eaux, c'est-à-dire, un élément non favorable au processus de dénitrification.

Le réseau de voie de communication (terrestre) du Bas Ogooué se recoupe en route nationale (desservant les provinces), routes secondaires (assurant la jonction des voiries urbaines, ou reliant la ville à une zone périphérique), pistes (généralement des voies d'anciennes et/ou actuelles exploitations) et voie de chemin de fer (tableau 26, ci-après).

**Tableau 26 : Part de voies de communication terrestres dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

| Désignation | Longueur (km) | Part (%) |
|---|---|---|
| Route nationale | 17 | 3 |
| Routes secondaires | 254 | 45 |
| Pistes | 237 | 42 |
| Voie ferroviaire | 59 | 10 |
| Total | **567** | **100** |

Source : couches vecteurs des infrastructures routières et ferroviaires, WRI 2013

La figure 57, ci-après, indique que la majorité de ces infrastructures routières se retrouvent à l'extérieur de la zone humide.

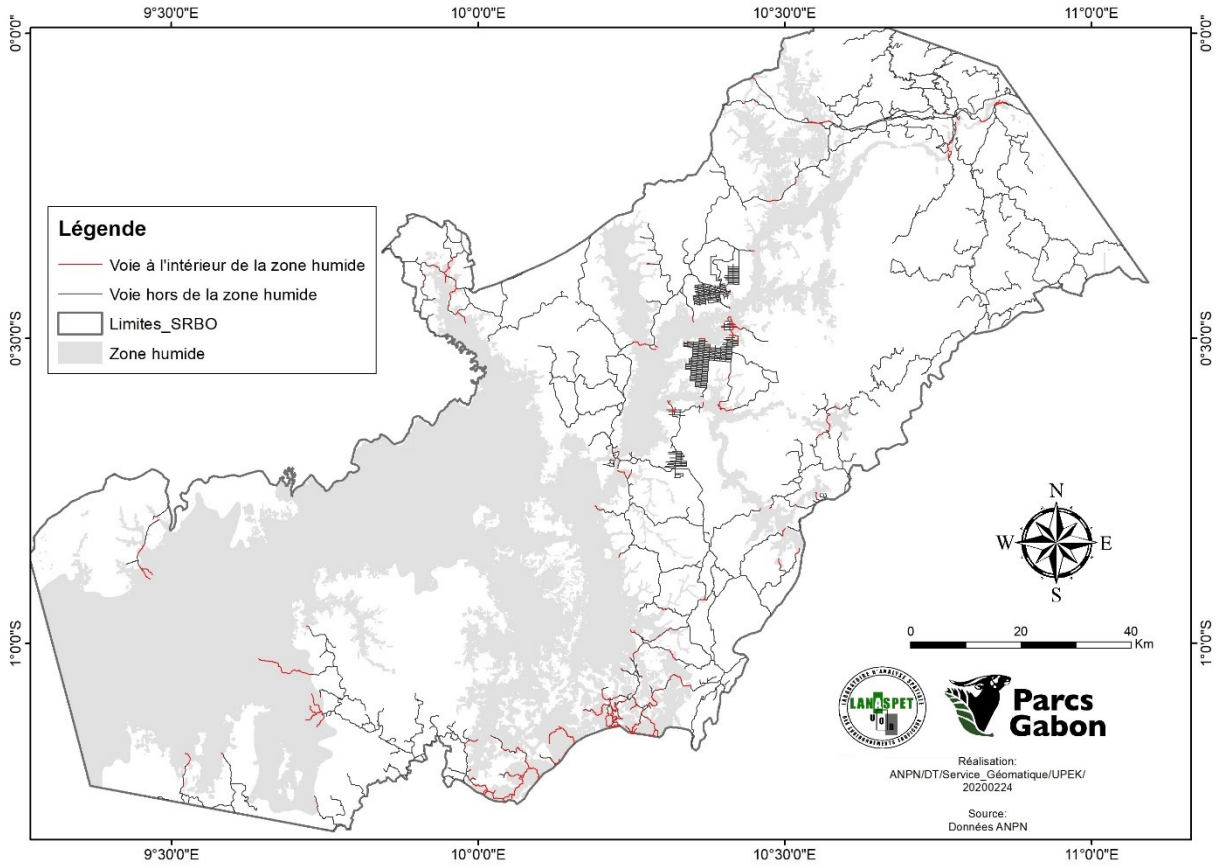



**Figure 57 : Voies de communication dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

Ces routes, qui pour la plupart ne sont pas connectées entre elles, laissent pourtant apparaître un contraste au niveau de leur répartition (figure 58, ci-après). En effet, les vallées alluviales de l'Ogooué (au sud de Lambaréné et du Lac Deguelié) ne comptent aucune route, tout le contraire des zones situées entre Lambaréné et la région de Ndjolé. Les zones ayant plus d'un tronçon de routes au mètre carré sont celles d'exploitation d'OLAM et la ville de Ndjolé (localité traversée par la voie ferrée).

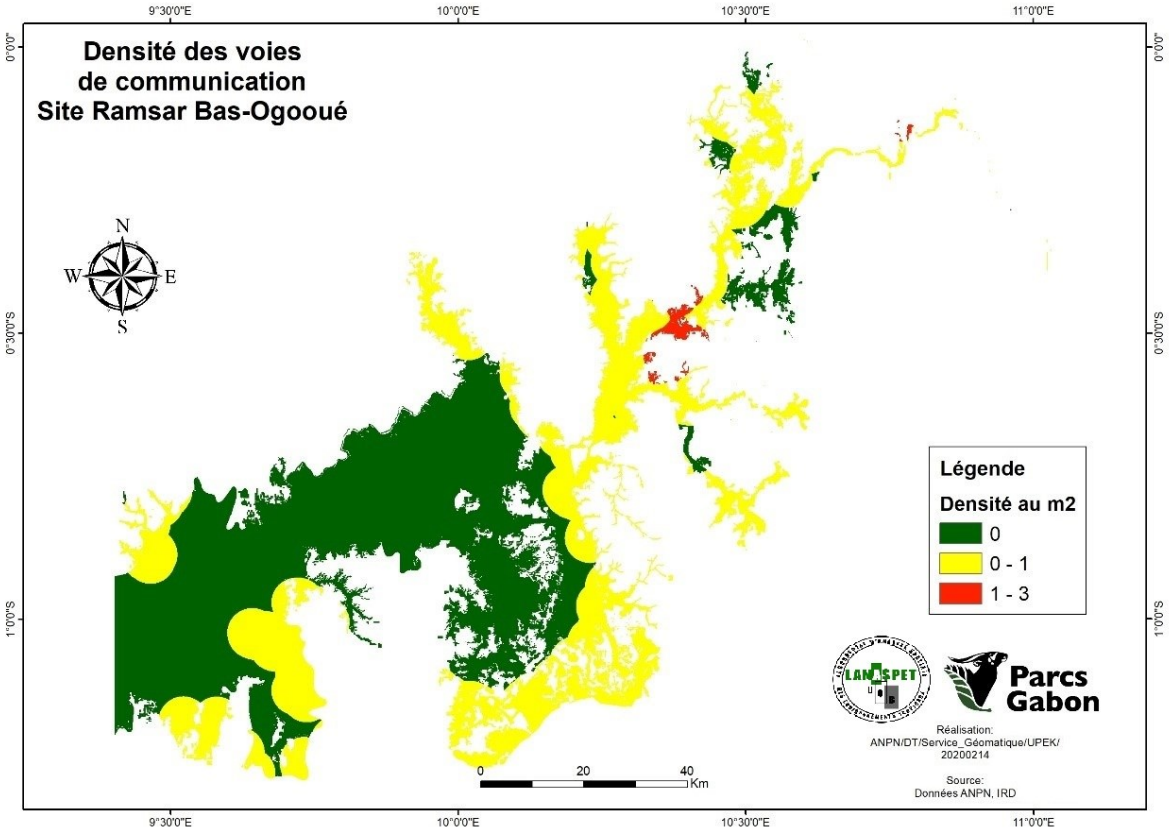



**Figure 58 : Densité de voies de communication terrestres**

*7.2.1.4. Le contact entre la zone humide et le versant par type de linéaire*

Le type de contact entre la zone humide et le versant conditionne l'apport de matière azotée au sein de la zone humide. Ainsi, les haies transversales à la pente assurent une diffusion lente des eaux chargées en azote ; elles favorisent la dénitrification. Si les eaux ne sont pas chargées en azote du fait de la présence de bois ou de prairies en amont, alors l'intérêt de cet élément paysager pour la fonction biogéochimique est limité et sera qualifié de neutre dans le processus d'évaluation.

A l'inverse, si un fossé transversal récupère les eaux chargées en azote et est directement connecté à un cours d'eau, la zone humide est déconnectée du flux et n'a donc aucun effet en termes de dénitrification et conduira alors à une évaluation négative de la fonction dénitrification. Par ailleurs, la présence d'un talus transversal en bas de pente ralentit notablement les flux d'eau en surface et en dessous, et participent donc à l'augmentation du temps de transfert et réduit le niveau de la crue (Viaud et *al*., 2005).

Ainsi, la longueur de contact entre la zone humide et le versant par type de linéaire peut être évaluée à partir des quatre indicateurs élémentaires suivants (figure 59, ci-après) :

- la longueur de la limite physiographique (talus) sur la longueur de contact entre la zone humide et le versant ;
- la longueur de la limite physiographique (route) sur la longueur de contact entre la zone humide et le versant ;
- la longueur de la limite floue au sein d'une prairie ou bois sur la longueur de contact entre la zone humide et le versant ;

Les quatre types de contact entre la zone humide et le versant décrits plus haut ont été déterminés par l'outil « intersect », à partir des limites entre la zone humide et le versant, à travers les différentes couches des HGMU et de l'occupation du milieu. Les limites de type physiographique (talus) sont majoritaires et les limites d'usage minoritaire (tableau 27, ci-après).

**Tableau 27 : Mesure type de limite dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

| **Type de limite** | **Longueur (km)** | **Part ( %)** |
|---|---|---|
| Limite d'usage | 147 | 1% |
| Limite floue | 750 | 6% |
| Limite physiographique (route) | 276 | 2% |
| Limite physiographique (talus) | 10451 | 90% |
| **Total** | **11624** | **100%** |

Source : Fern MBOUMBOU MAKANGA, 2021

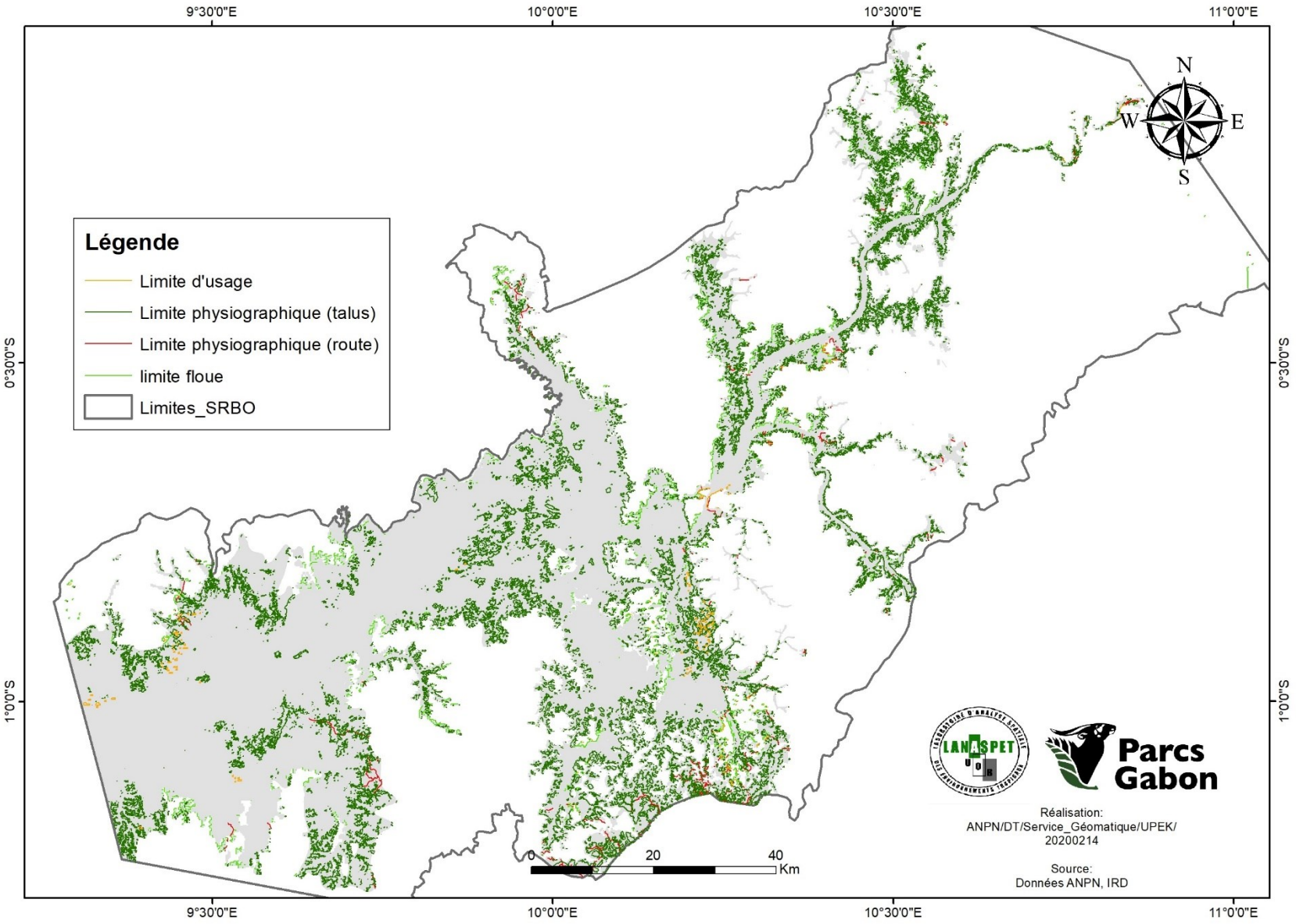



**Figure 59 : Contact entre la zone humide et le versant par type de linéaire dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

### 7.2.2. Application aux fonctions écologiques

#### *7.2.2.1. L'écrêtage des crues*

La fonction spatialisée « écrêtage de crue » semble être d'intensité moyenne, sur l'ensemble de la zone humide. Les intensités les plus élevée et les plus étendues se retrouvent dans les vallées alluviales de l'Abanga, l'Ogooué et la Deguelié. Les zones avec les surfaces en eau importantes, ainsi que les surfaces artificialisées, enregistrent les valeurs les plus faibles (figure 60).

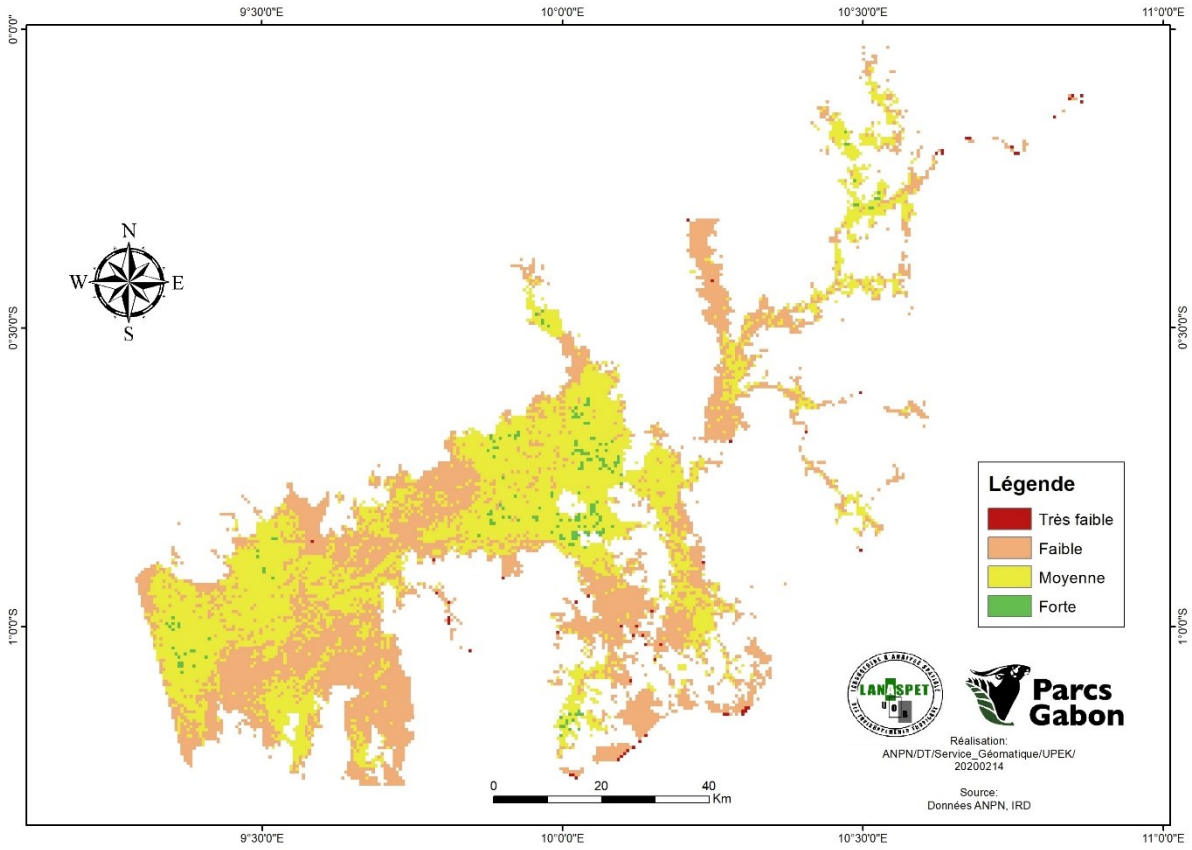



**Figure 60 : Écrêtage des crues**

#### *7.2.2.2. Le Soutien à l'étiage*

La spatialisation de la fonction « soutien aux étiages » semble dépendant des unités hydrogéomorphologiques (HGMU). L'intensité de la fonction varie de « moyenne » à « très forte » dans les zones de plaine alluviale, alors qu'elle est « faible » dans les zones de talus et très faible dans les zones les plus hautes. Les zones enregistrant une intensité très forte sont celles des lacs Alombiè, Azingo, Oguémoué, Evaro, Ezanga et Onangué (figure 61, ci-après).

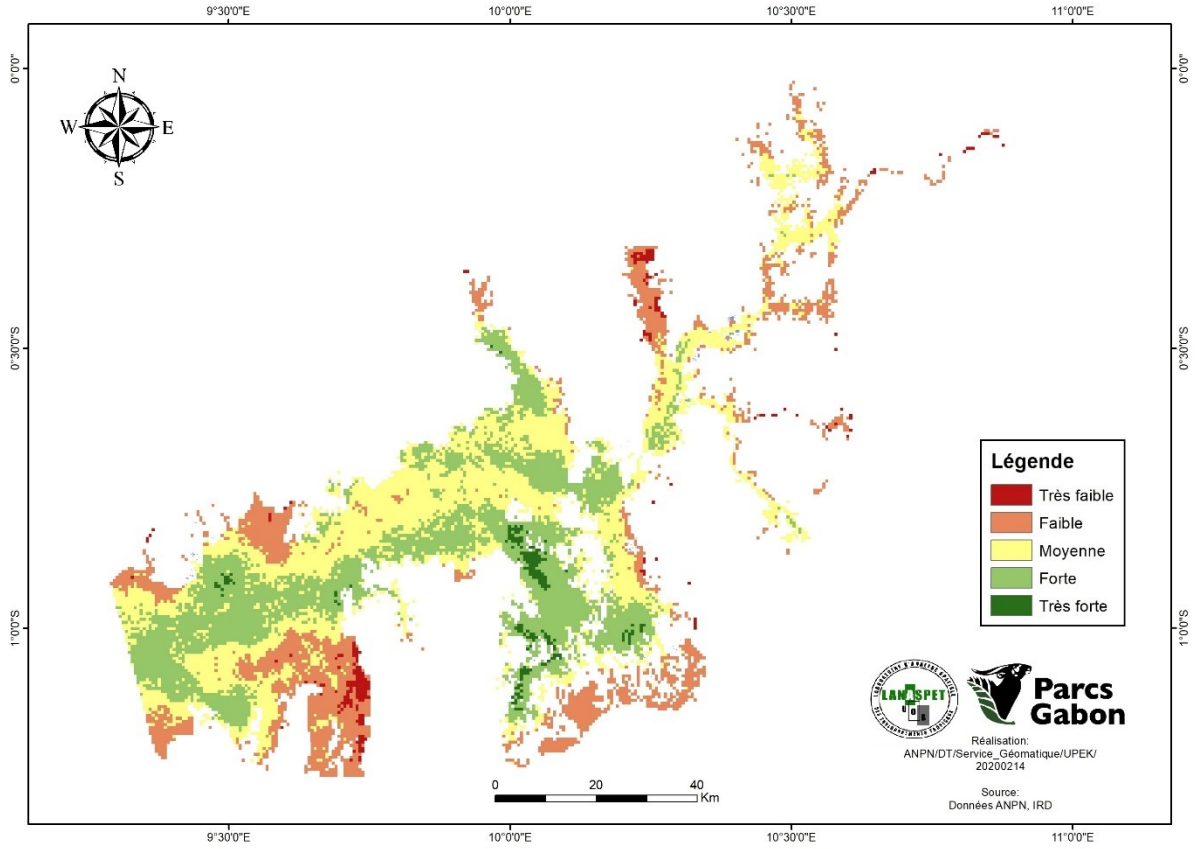



**Figure 61 : Soutien aux étiages dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

### *7.2.2.3. La dénitrification potentielle*

D'une façon générale, les vallées alluviales ont un potentiel fonctionnel vis-à-vis des flux polluants assez fort, tandis que la situation des méandres est plus contrastée : si le centre du méandre possède un potentiel plus élevé que la périphérie, l'évaluation de la fonction varie beaucoup d'un méandre à l'autre, passant de très faible à faible pour l'un à fort à très fort pour l'autre.

Cette première évaluation nécessite des validations avec des mesures de l'efficacité réelle de la zone humide effectuées sur le terrain, telles que des relevés de la qualité de l'eau en entrée et en sortie de la zone humide (figure 62, ci-après).

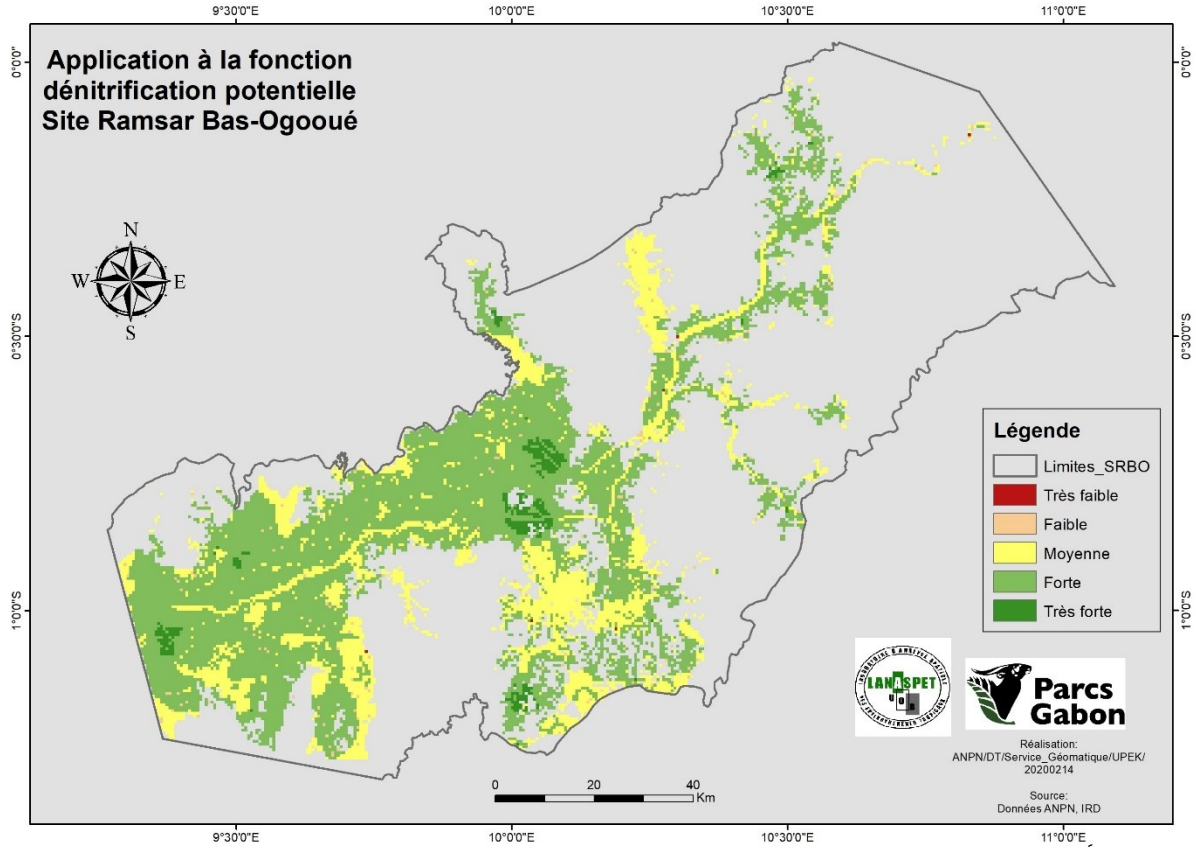



**Figure 62 : Dénitrification potentielle dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

### 7.2.3. La biodiversité potentielle

La fonction habitat indique la biodiversité potentielle. L'évaluation spatialisée de la biodiversité potentielle de la zone humide, à partir de données de télédétection, montre des disparités importantes (Figure 63, ci-après). Les zones centrales palustres ainsi que les petites vallées alluviales présentent un potentiel fonctionnel important pour la biodiversité. A l'inverse, certaines zones de talus, jouxtant la zone non humide, ont un potentiel faible pour cette fonction. Ces résultats semblent globalement cohérents au vu des points des espèces récoltées, qui se superposent à 93% sur les zones où l'intensité de la fonction est de moyenne à forte.

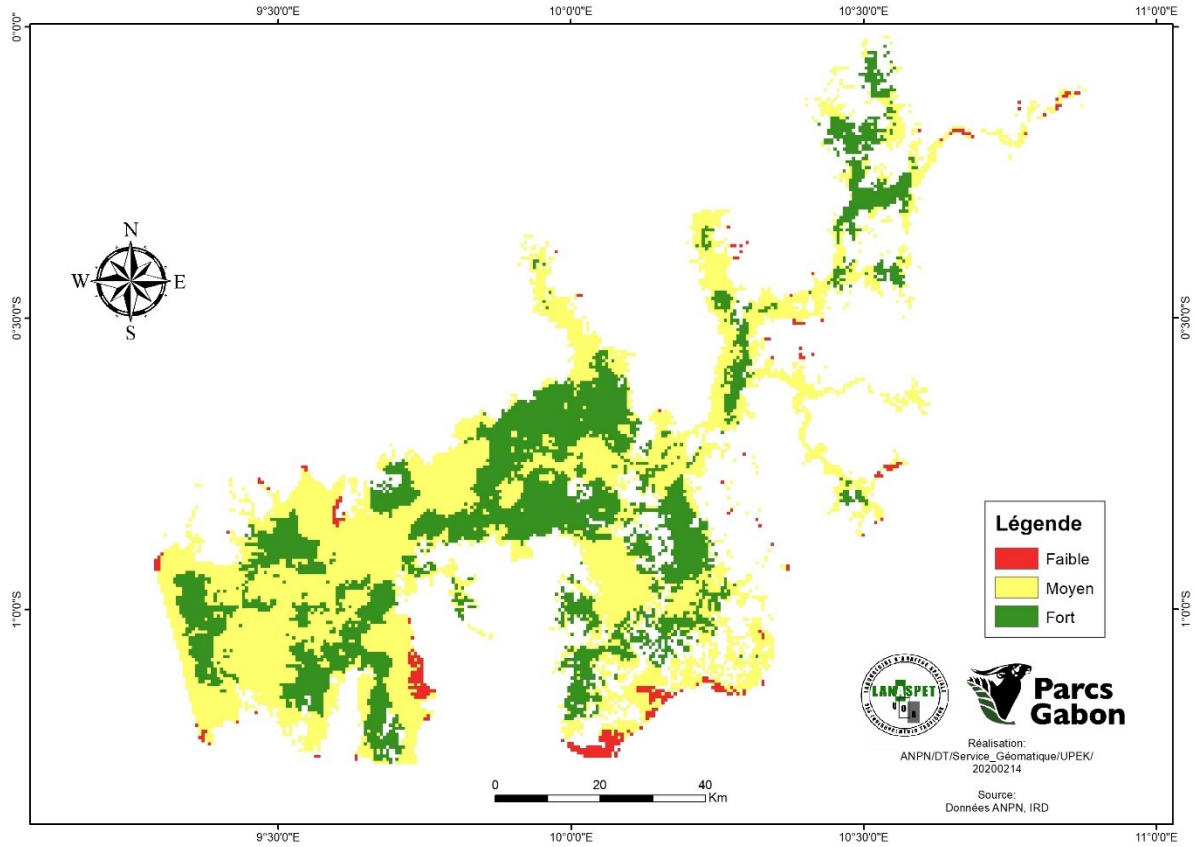



**Figure 63 : Biodiversité potentielle**

A l'aide de l'analyse de 18 descripteurs, ont identifiées les zones humides fonctionnelles sur l'ensemble de la zone humide délimitée au sixième chapitre. Répartis en deux types, linéaires et surfaciques, ces descripteurs ont été déduits des bases de données cartographiques dont nous disposions, ainsi que par traitement automatique des données de télédétection.

Concernant la fonction écrêtage de crue, la majorité des zones humides (50 %) ont un intérêt moyen et 49 % ont un intérêt faible. Seulement 1 % des zones humides ont un intérêt fort vis-à-vis cette fonction. Il s'agit donc des marais de Ebel, Azingo, Alombiè ainsi que les tributaires des lacs Onangué et Anengué qui ont un potentiel élevé pour l'écrêtage des crues. Cependant, au sein des secteurs précédemment cités, certaines HGMU correspondant parfois à des bourrelets, ont un potentiel d'écrêtage de crue plus faible.

Le potentiel de soutien à l'étiage est relativement moyen sur l'ensemble des zones humides, avec 26 % de la superficie des zones humides qui ont un intérêt très faible à très faible. Cependant, quelques unités hydrogéomorphologiques (HGMU) présentent un

intérêt plus fort, en particulier dans les plaines alluviales des grands lacs et de l'Ogooué, au sud de Lambaréné.

Le potentiel de dénitrification est globalement très fort à fort sur l'ensemble des zones humides. Plus de la moitié de la superficie des zones humides (70 %) a un intérêt fort à très fort. Quasiment aucun secteur ne présente un intérêt faible à très faible, et seulement 29 % ont un intérêt moyen.

Le potentiel d'habitat pour les espèces des milieux humides est essentiellement moyen (60 %). Il est cependant fort pour les marais de Denguelié, d'Ebel, de l'Ogooué, ainsi que les régions des grands lacs (excepté Azingo). D'autres secteurs tels que l'amont de la rivière Mbiné semblent présenter un intérêt fort pour cette fonction.

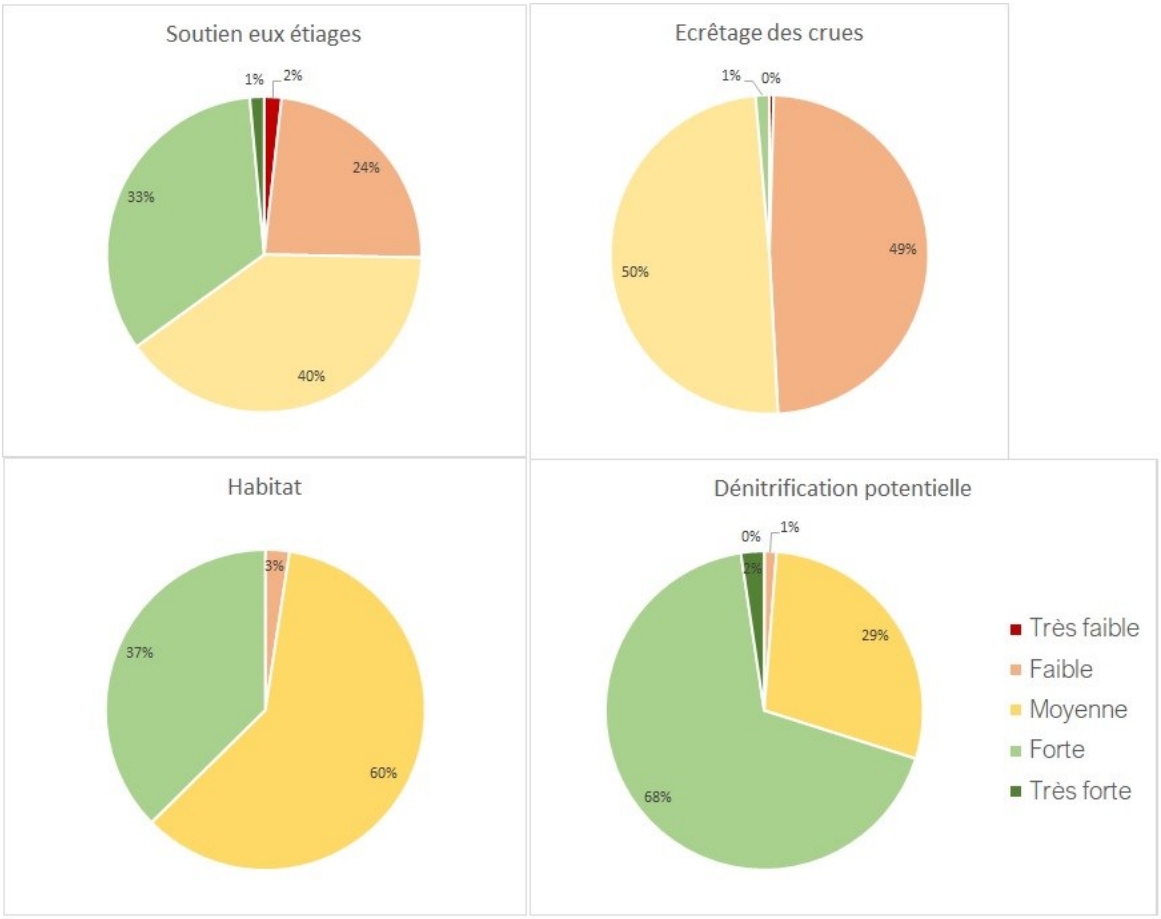



**Figure 64 : Répartition des classes d'intérêt fonctionnel des zones humides du Bas Ogooué**

# CHAPITRE 8 : DEFINITION DES ZONES DE CONSERVATION DANS LE SITE RAMSAR DU BAS OGOOUE

A la suite du Chapitre VII, celui-ci vise à délimiter les zones de conservation sur la base des zones humides peu perturbées et qui auraient montré un fort intérêt écologique du point de vue de leurs processus fonctionnels. Rappelons que les zones humides d'importance internationale ne sont pas des parcs nationaux et, comme ces derniers, elles ne bénéficient pas de niveau de protection fort au Gabon.

Or le delta de l'Ogooué (7170 $km^2$) est le deuxième plus grand delta de la région, après celui du fleuve Niger (70 000 $km^2$). Comparativement, celui du plus grand fleuve gabonais est encore en très bon état. Face à l'industrialisation, à la consommation sans cesse croissante des espaces urbains et aux effets des changements climatiques, il s'avère nécessaire de conserver certains noyaux du site Ramsar du Bas Ogooué en vue de la régulation des services écosystémiques.

Ces noyaux constitueront les zones centrales, tels que prévoit le zonage des réserves de biosphère, dont l'applicabilité a été recommandée pour les sites Ramsar sans zone tampon et qui font l'objet de l'établissement des plans de gestion (Ramsar, 2016).

Dans ce chapitre, il s'agira, dans une première partie de délimiter les différentes zones centrales du site Ramsar, puis de justifier à tour de rôle leur importance, au vue des services écosystémiques observés sur le terrain et fournit par la littérature. Selon l'UNESCO (2021), une zone centrale est une portion de territoire désignée qui dispose d'une aire strictement protégée contribuant à la conservation des paysages, des écosystèmes, des espèces et de la variation génétique.

Dans une seconde partie, il sera question de faire un horizon de chaque zone centrale désignée, à partir des observations de terrain et les éléments bibliographiques.

## 8.1. Matériel et méthodes

La majorité des descripteurs sectionnés pour délimiter les zones de conservation, relèvent des textes Ramsar et nationaux. Pour notre analyse, nous avons décidé de les classer en « fonction », « valeur » et « service », tels que présenté dans le tableau 28, ci-après.

Les données ont été standardisées de façon linéaire. La majorité de descripteurs sont de type croissant ; car plus leur intensité est élevée, plus la zone est potentiellement importante. Seuls les descripteurs liés à la présence anthropiques sont de type décroissant ; car plus leur intensité est importante, alors la zone est potentiellement dégradée.

**Tableau 28: Indicateurs utilisés pour définir les zones de conservation**

<table>
<tr><th>Critère</th><th>Indicateur fonctionnel</th><th>Descripteur</th><th>Standardisation</th><th>Type</th></tr>
<tr><td rowspan="3">Fonction</td><td>Fonction géochimique</td><td>Dénitrification potentielle</td><td rowspan="11">Linéaire</td><td rowspan="7">Croissant</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Fonction hydrologique</td><td>Soutien aux étiages</td></tr>
<tr><td>Écrêtage de crue</td></tr>
<tr><td>Fonction écologique</td><td>Habitat</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Valeur</td><td>Espèces vulnérables, endémiques ou menacées</td><td rowspan="3">Densité des espèces</td></tr>
<tr><td>Espèces fortement dépendant de ces habitats aquatiques</td></tr>
<tr><td>Espèces intégralement protégées</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Service</td><td>Habitat et activités anthropiques</td><td>Densité des villages et campements</td><td rowspan="2">Décroissant</td></tr>
<tr><td>Activité pétrolière</td><td>Densité des pipelines</td></tr>
<tr><td>Stockage de carbone</td><td>Carte binaire (carbone 118, carbone -118)</td><td>Croissant</td></tr>
</table>

Réalisation : Fern MBOUMBOU MAKANGA

L'analyse multicritères fonctions, valeurs et services des zones humides du site Ramsar ont permis de mettre en évidence les zones humides à haute valeur de conservation. La notation de chaque descripteur sur cinq nous a amené à considérer comme zones à hautes valeurs de conservation, celles ayant obtenue une moyenne

supérieure à deux. Ces zones supposent qu'elles renferment à minima deux fonctions, de services et deux valeurs.

Les zones de conservation ou zones centrales ont été numérisées tout en suivant le cours d'eau ou la ligne de crête la plus proche afin de reproduire, au mieux, bassin hydrographique relativement protégé des menaces extérieures.

## 8.2. Résultats

### 8.2.1. Evaluation des descripteurs relatifs aux valeurs

Les valeurs prises en compte ici, font référence aux espèces de flore, de poissons, d'oiseaux et de grands mammifères. Ces données ont été fournies par l'Herbier national, le WWF et l'Institut de Rechercehe Agronomique et Forestière (IRAF). Au total, 2201 points relevés ont été traités (figure 67, ci-après). La majorité des données récoltées concernent l'avifaune (56 %) et les poissons (40%).

Quant aux espèces, on a pu en dénombrer 186 au total, dont les 144 espèces de poisson prédominent (figure 65). Néanmoins, selon les données reçues, nous n'avions pu comptabiliser le nombre d'espèce d'oiseaux, car le fichier n'en comprenait pas.

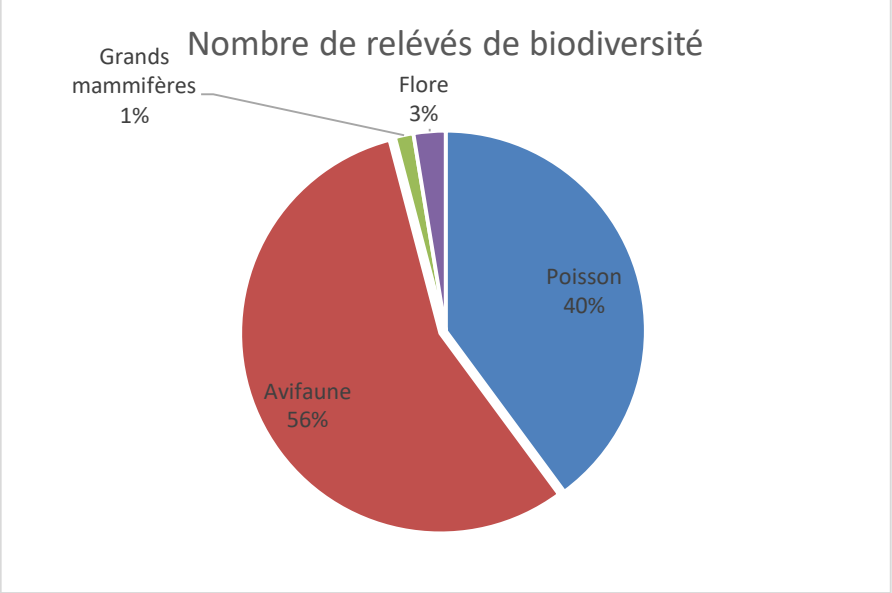



**Figure 65 : Répartition des relevés de la biodiversité dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

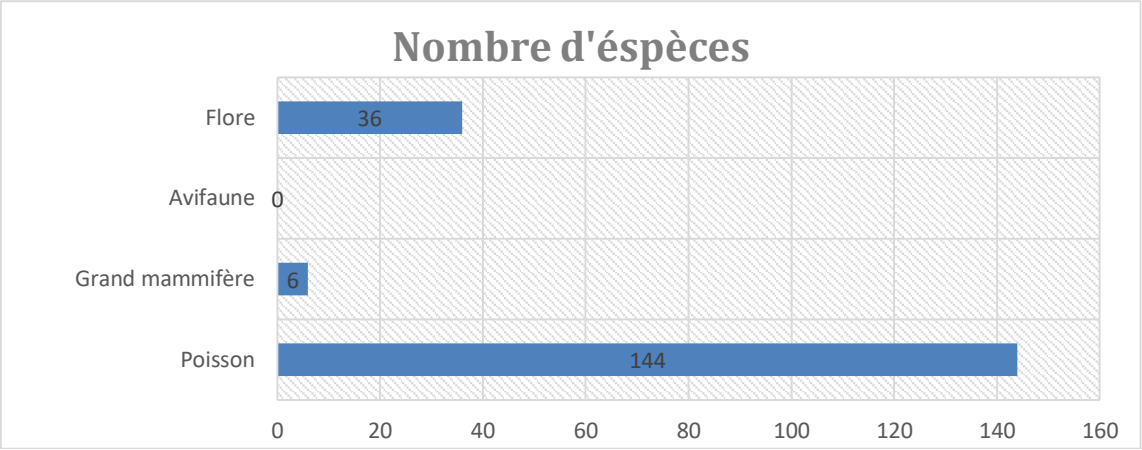



**Figure 66 : Répartition du nombre d'espèces par type biodiversité dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

Les plus grandes concentrations des espèces, en majorité les poissons et les oiseaux d'eau, se retrouvent dans les zones à forte biodiversité potentielle. Ainsi les grandes zones de concentration sont donc celles comprises entre les confluents des rivières Mbiné et Ngounié, le secteur Oguémoué-Evaro, les rives de Rembo Azingo et l'Ogooué, au sud de Lambaréné (figure 67, *op. cit.*).

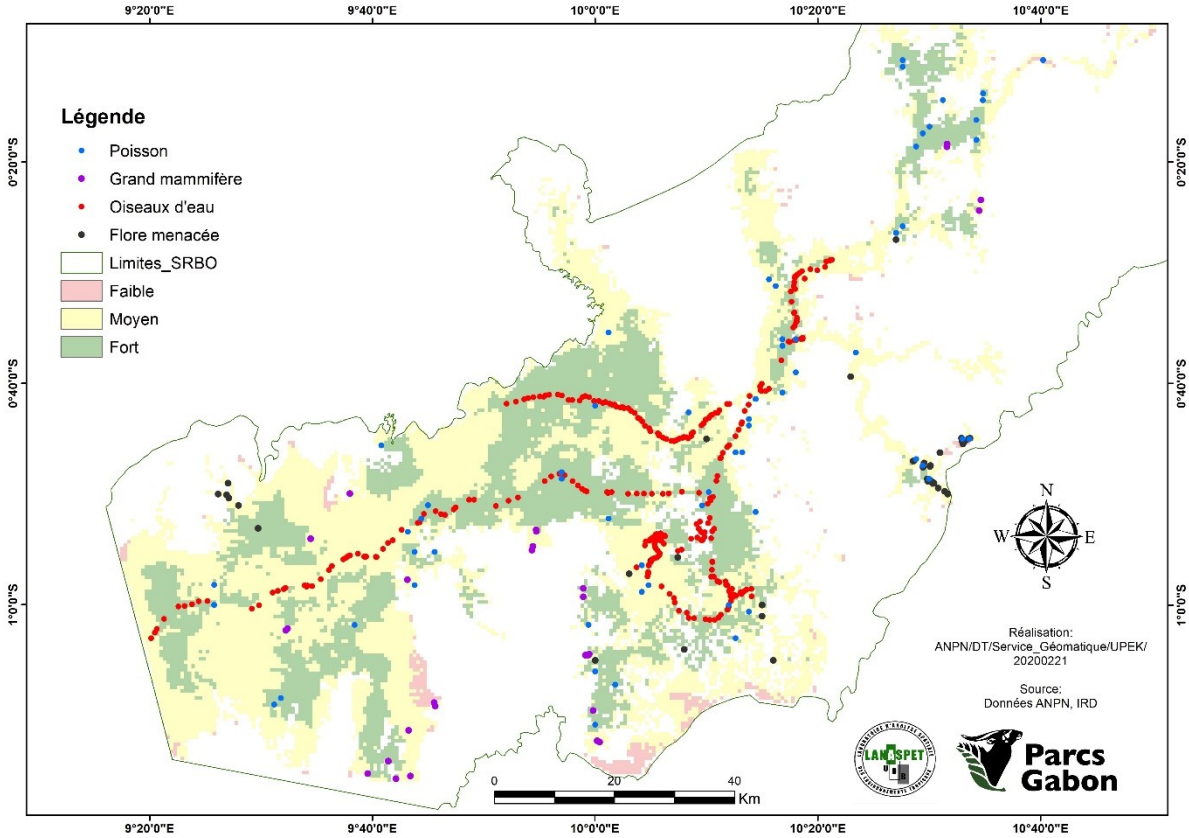



**Figure 67 : Répartition des espèces à travers les zones d'habitat potentiel dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

### 8.2.3. Les descripteurs relatifs aux services

Les services rendus par les zones humides sont de deux ordres : les services d'approvisionnement (villages, activité pétrolière) et les services de soutien (stockage de carbone). Les services d'approvisionnement sont évalués de façon décroissante, car une présence anthropique trop grande a tendance à détériorer la fonctionnalité des zones humides. *A contrario*, les services de soutien sont évalués de façon croissante, car plus l'intensité est importante, mieux la production de tous les autres services écosystémiques est garantie (FAO, 2020).

#### *8.2.3.1.* Les villages

Selon notre base de données, 99 villages ont été recensés à l'intérieur des zones humides. Les villes ont été écartées, volontiers ; car lors du processus de délimitation de la zone humide effective, nous avions extrait les zones bâties caractérisant les villes de Lambaréné et Ndjolé, les seules localités entourées par les zones humides du site Ramsar du Bas Ogooué.

Comme le montrent les figures 68, ci-après, les villages sont inégalement répartis à travers la zone à dominance humide. Effectivement, est observé un véritable contraste sur le fleuve Ogooué, entre les parties nord et sud de Lambaréné. Si les villages au nord de Lambaréné paraissent resserrés et réguliers, au sud de Lambaréné la zone du système lacustre Onangué- Ezanga- Oguémoué compense l'irrégularité des villages.

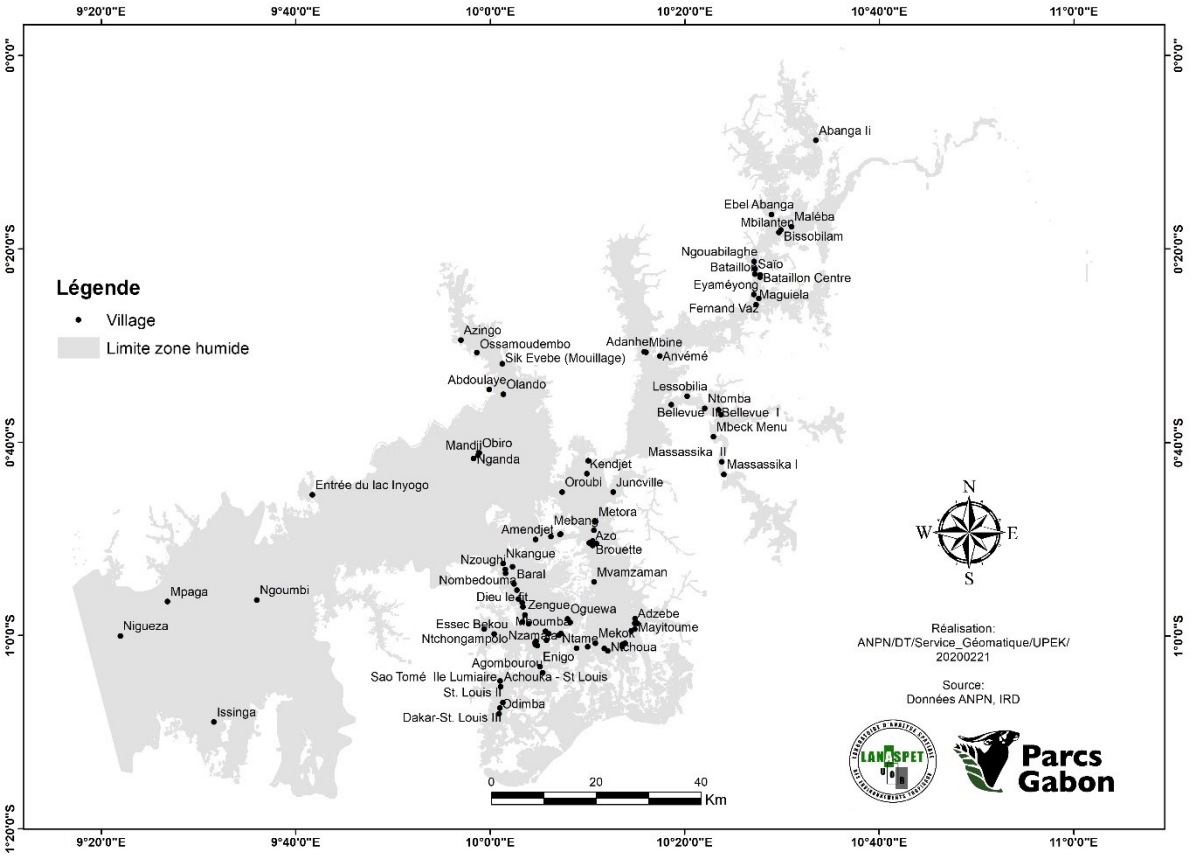



**Figure 68 : Répartition des villages dans la zone humide du site Ramsar du Bas Ogooué**

### *8.2.3.2. L'exploitation pétrolière*

L'exploitation pétrolière peut renfermer plusieurs infrastructures susceptibles de discriminer ou d'affecter les fonctions d'une zone humide, parmi lesquelles les sites d'exploration, de prospection et les pipelines. Pour l'étude actuelle, les pipelines ont été la seule donnée d'exploitation disponible. Toutefois, elle peut paraître insignifiante, par rapport à l'étendue des zones humides du site. En effet, ils totalisent une longueur de 32 kilomètres et se situe, au sud du lac Ezanga (figure 69, ci-après).

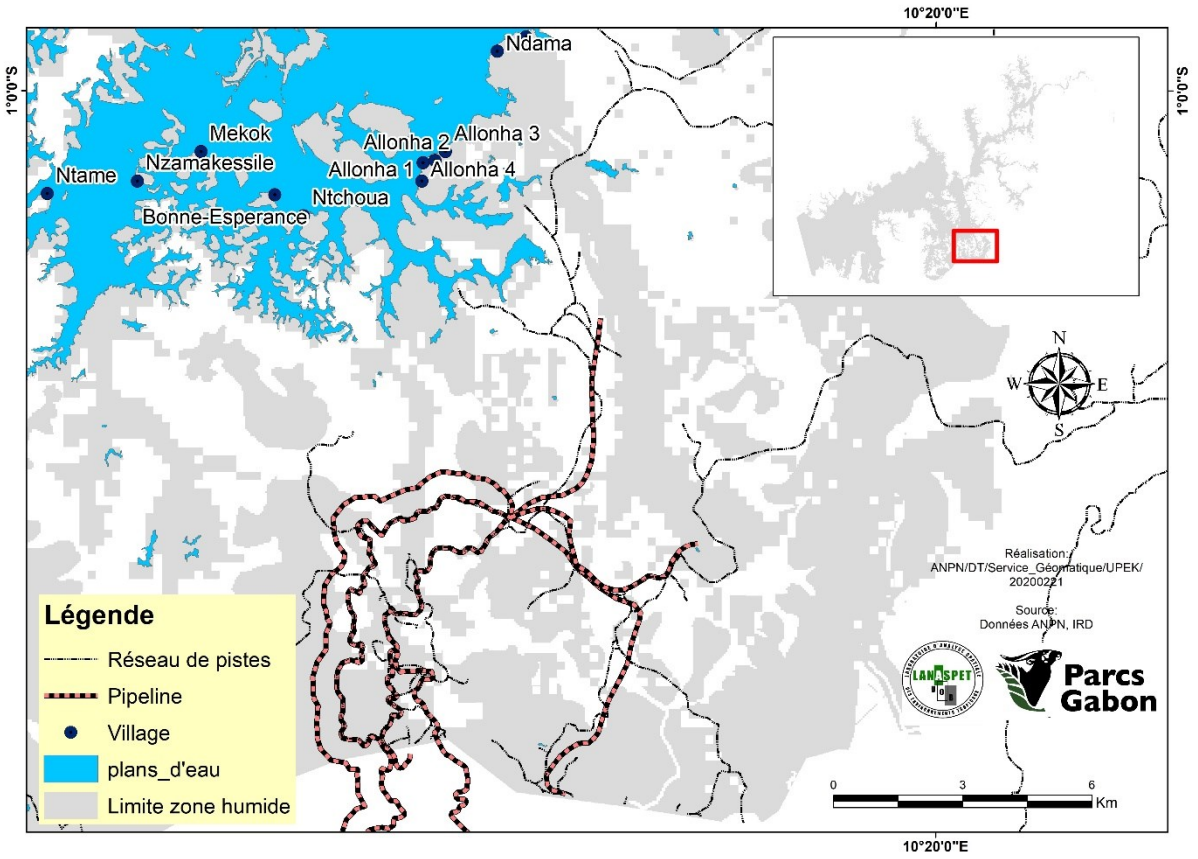



**Figure 69 : pipelines de la société Maurel & Prom au sud du lac Ezanga**

### *8.2.3.3. Le carbone*

La donnée carbone a été fournie par l'ANPN. Elle est structurée selon deux classes : carbone 118 et carbone moins 118. Les zones de carbone 118 représente les milieux de forêt primaire, alors que celles de carbone moins 118 représente les autres écosystèmes, y compris les forêts dégradées. Les zones de carbone 118 sont les moins étendues, avec une superficie de 161 684 ha. Les zones de carbone – 118, quant à elles, représentent 348 144 ha (figure 70, ci-après).

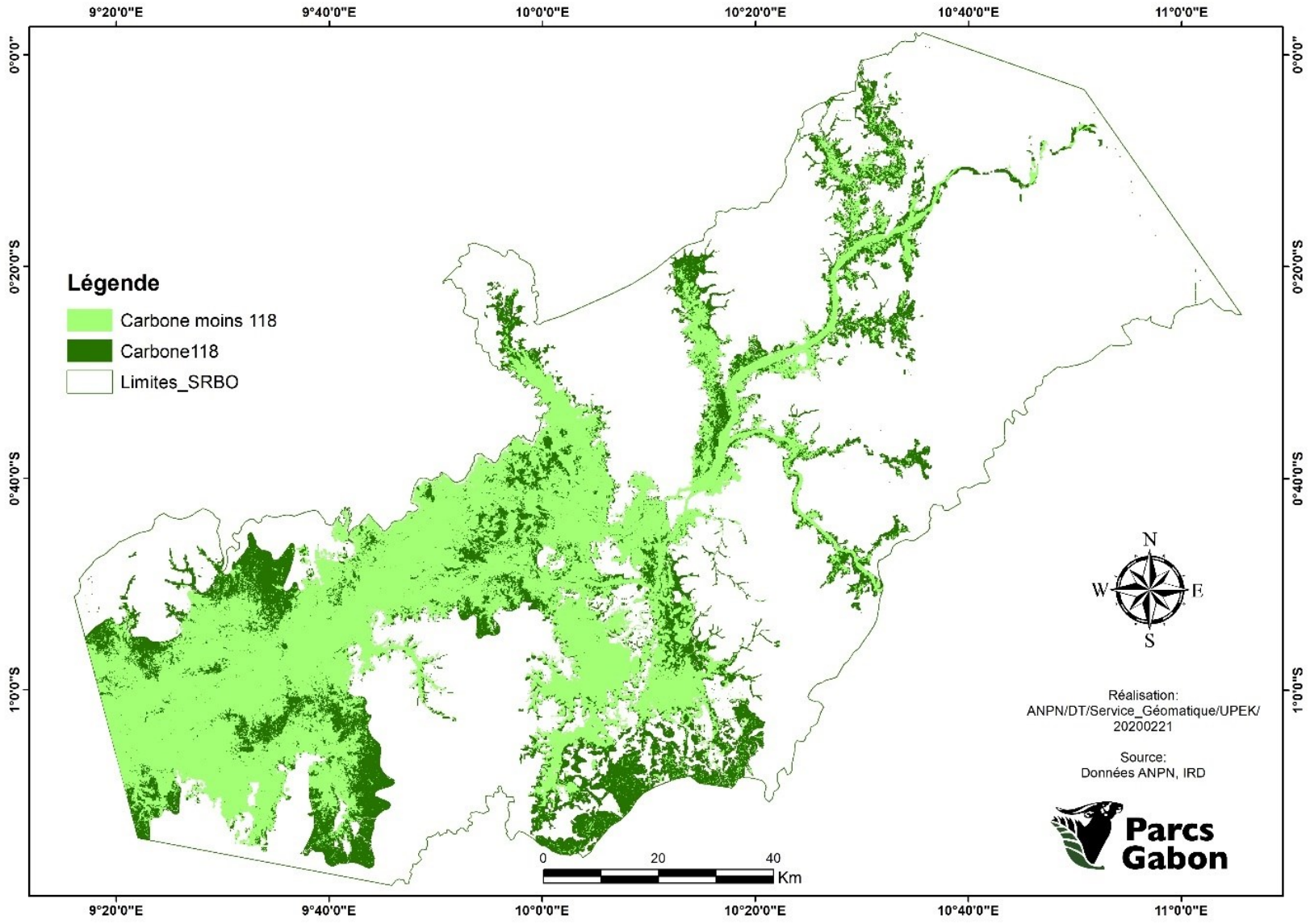



**Figure 70 : Répartition du carbone dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

### 8.2.4. Définition des zones centrales ou dites de conservation

Selon l'UNESCO (2021), une zone centrale est une portion de territoire désignée qui dispose d'une aire strictement protégée contribuant à la conservation des paysages, des écosystèmes, des espèces et de la variation génétique.

L'analyse multicritères des descripteurs vus plus haut a permis de déterminer des zones à haute valeur écologique. Rappelons que l'objectif principal de ce travail est de définir des zones de conservation à l'intérieur des zones humides du Site Ramsar. Lesdites zones de conservation ont donc été déduites de celles dites à « haute valeur écologique ».

Les résultats de l'analyse multicritères mettent en exergue des zones dont les scores varient de 1 à 5. Ont été considérées comme zone de haute valeur écologique celles ayant obtenu les scores 4 et 5. Ces scores représentent respectivement les zones ayant des valeurs « forte » à « très forte ». Bien qu'inégalement réparties, ces zones à haute valeur de conservation sont aussi bien présentes au nord qu'au sud du site Ramsar du Bas Ogooué. Elles prennent place dans les zones les moins habitées du site.

De façon globale le site présente une valeur écologique moyenne repartie essentiellement dans la vallée alluviale, dans laquelle sont parsemés les grandes zones à haute valeur de conservation (figure 71, ci-après) autour desquelles ont été numérisées les zones centrales ou de conservation. En dehors de ces huit zones, deux autres ont été ajoutées par rapport nos prospections de terrain. Il s'agit de la zone humide de la rivière Mbiné, réputée pour abriter une concentration importante d'hippopotames, et celle au nord du lac Azingo reconnue comme zone de frayère et réputée être un habitat favorable pour le lamantin.

En fait, le travail produit ici coïncide à quelques exceptions près à deux autres travaux déjà existants (Wande Weghe J.P. et Stevart T., 2017). En effet, les zones humides à haute valeur de conservation s'étendent pour la plupart, sur des zones désignées comme les plus importantes pour les mammifères. De plus les zones à haute valeur de conservation proches des lacs Onangué, Oguémoué et Evaro intègrent l'une des deux réserves naturelles proposées par l'UICN en 1990 (figure 73, ci-après).

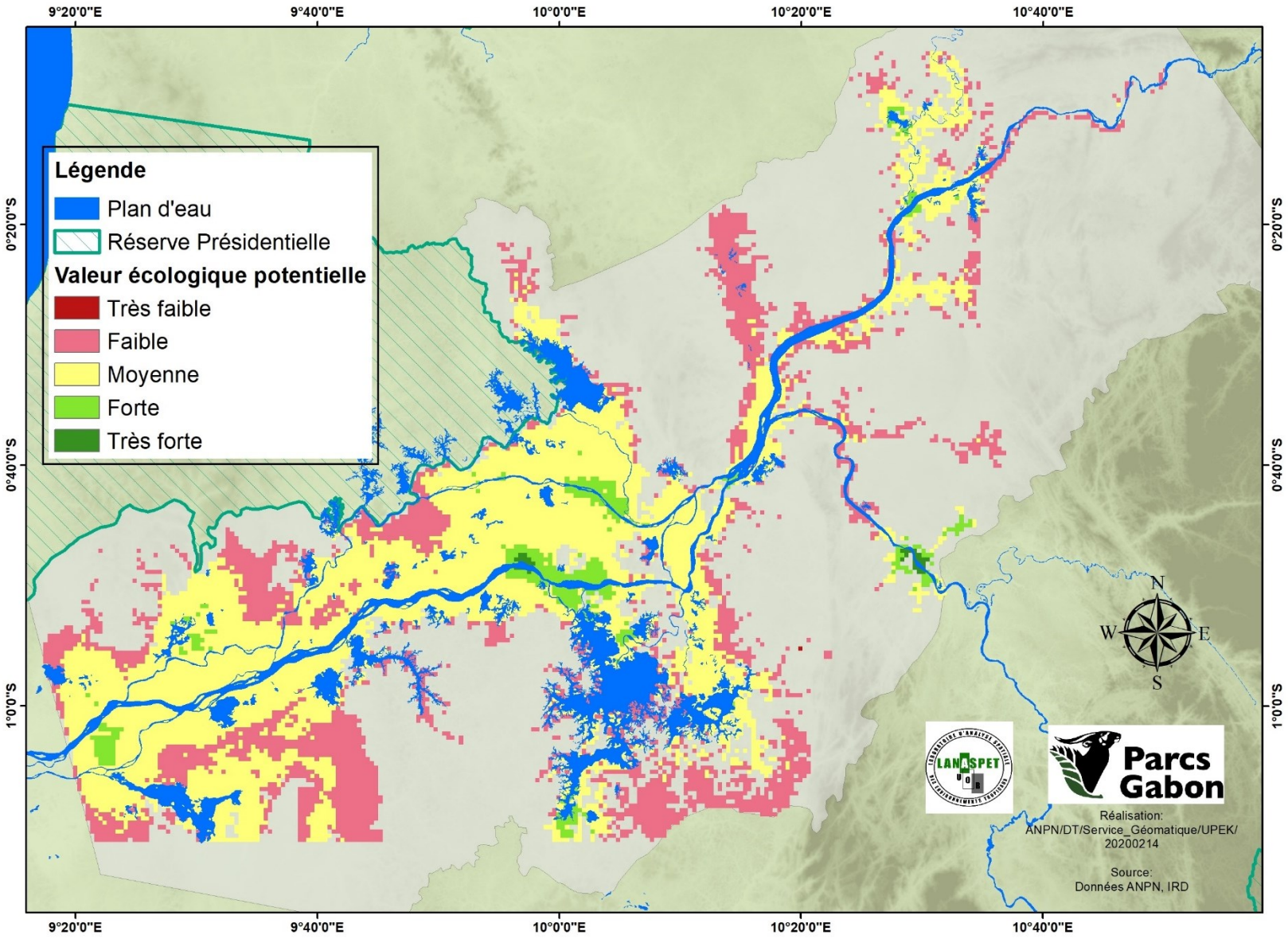



**Figure 71 : Valeur écologique potentielle du site Ramsar du Bas Ogooué**

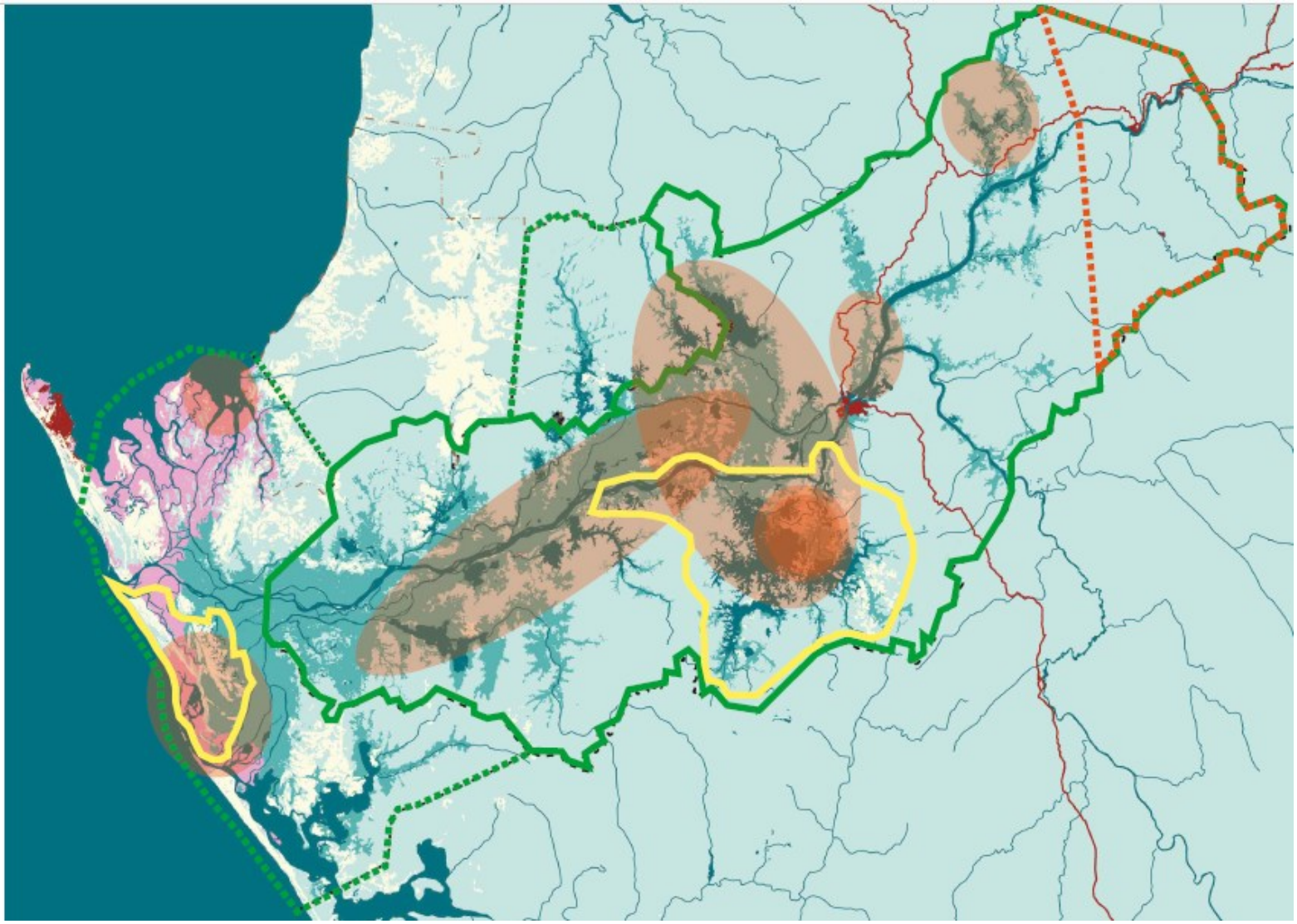


**Figure 72: Zone importante pour les mammifère (en rose) et les deux réserves proposées par l'UICN en 1990 (in Vande Weghe J.P. et Stévart T., 2017)**

Au total, 10 zones de conservation ont été délimitées et représentent une superficie totale de 115 103 ha, soit 22, 58 % de l'ensemble de la zone humide effective et 8,44 % du site Ramsar du Bas Ogooué (tableau 29 et figure 73, ci-après).

**Tableau 29: Zone de conservation dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

| Zone de conservation | Superficie (en ha) | Part de la zone humide | Part du site Ramsar |
|---|---|---|---|
| Alombiè | 7124,63 | 1,40% | 0,52% |
| Azingo | 1853,18 | 0,36% | 0,14% |
| Ebel Abanga | 6704,23 | 1,32% | 0,49% |
| Evaro | 26871,84 | 5,27% | 1,97% |
| Lambaréné | 221,28 | 0,04% | 0,02% |
| Mbiné | 18833 | 3,69% | 1,38% |
| Ngounié aval | 6812,57 | 1,34% | 0,50% |
| Obando | 12342,2 | 2,42% | 0,91% |
| Oguémoué | 8852,29 | 1,74% | 0,65% |
| Ouango | 25487,73 | 5,00% | 1,87% |
| **Total** | **115 103** | **22,58%** | 8,44% |

Ces zones se répartissent majoritairement dans la zone du delta supérieur de l'Ogooué où l'on en dénombre six. En ligne droite, le trnçon Oguémoué-Ezanga semble être une zone capitale pour la conservation. Il regroupe à lui seul 4 zones centrales (figure 73, *op. cit.*). Néanmoins il y'a des zones de grands vides, notamment le secteur norsd-est (du côté de la rive gauche de l'Ogooué et la zone sud-ouest (dans la zone du lac Ovowé). Ces vides s'expliquent généralement par le fait que dans ces régions, les écosystèmes de terre ferme dominent les milieux humides. Aussi il faut prendre en compte la faiblesse de l'intensité des fonctions dans la zone du lac Ovowé (figures, 60,61 et 63 ci-avant).

Vu que la plupart des zones de conservations coïncident avec les lieu critiques identifier pour les mammifères, les mesures de protection devraient être améliorer sur les mesures de protection de surveillence de l'ensemble des zones de conservation du site. Selon Vande Weghe J.P. et Stévart T., 2017, les sites critiques sont :

1. Les deltas de la rivière Ezanga et de la rivière des Pélicans, qui abritent probablement la plus importante population d'hippopotames, non seulement du complexe du bas Ogooué mais aussi du Gabon et peut-être même de Basse-Guinée.

2. Les lacs qui abritent les plus importants effectifs de lamantins.
3. Les grands marais herbeux du centre du complexe, allant de la zone du lac Nyayé au au marais Nkengué ; elles sont difficilement accessibles aux humains et forment un couloir de passage entre les régions situées au nord (la réserve de Wonga-Wongué) et au sud des marais du bas Ogooué.

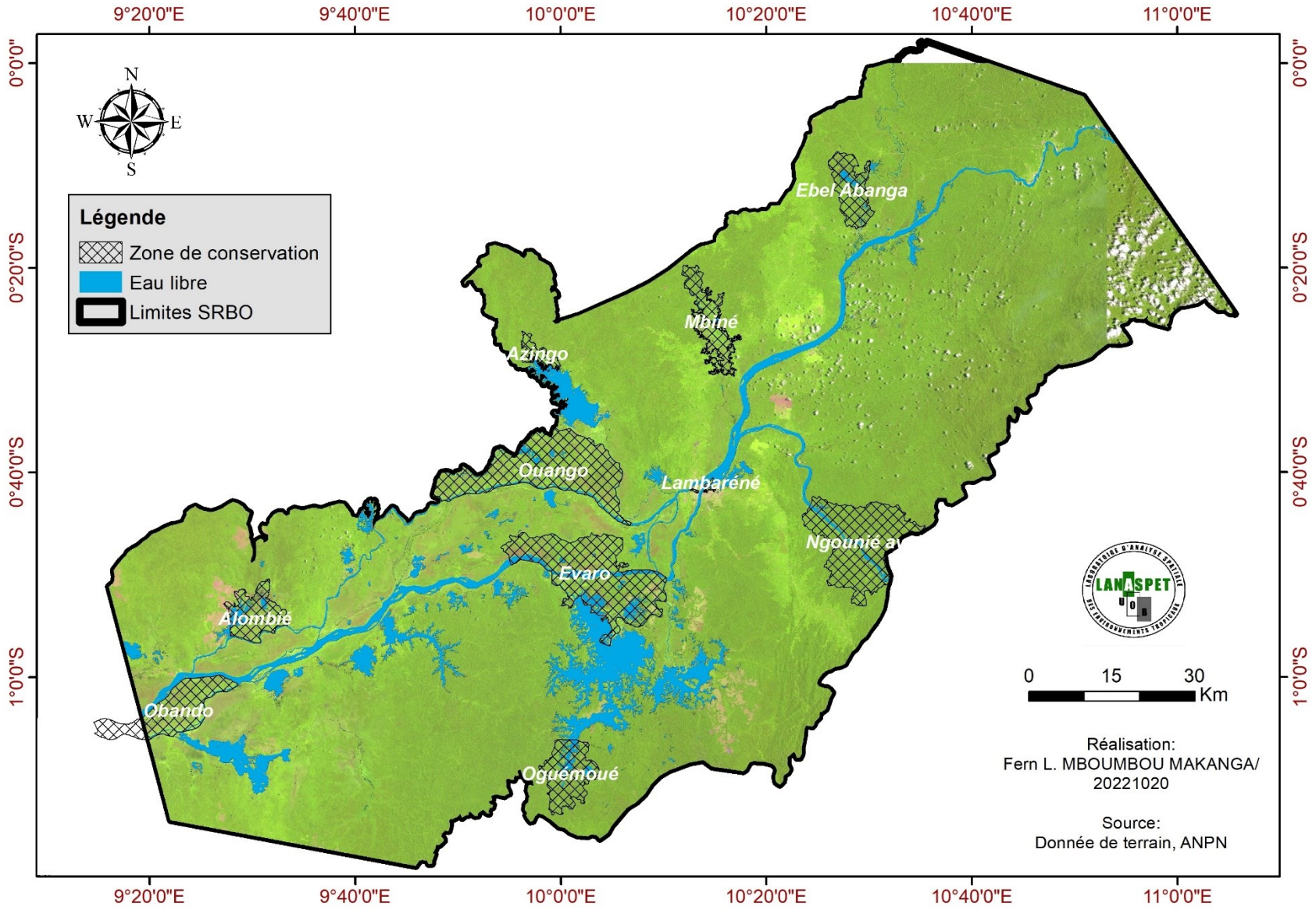



**Figure 73: Répartition des zones de conservation dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

## 8.3. Diagnostic des zones de conservation retenues

### 8.3.1. Les zones de conservation de Lambaréné

La zone de conservation de Lambaréné est la seule subdivisée en trois compartiments, soit deux compartiments en plein centre urbain et un compartiment sur le fleuve Ogooué (figure 74, ci-dessous).

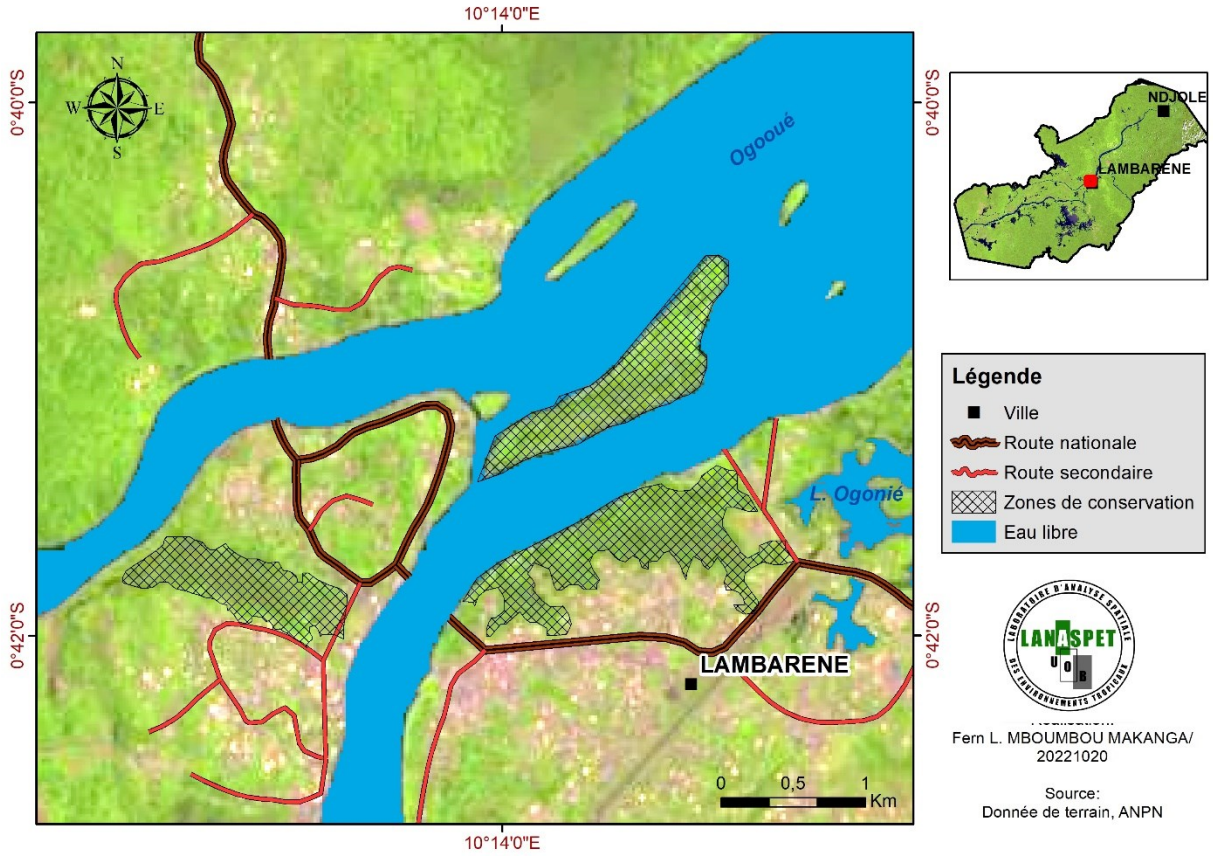



**Figure 74: Zones de conservation de Lambaréné**

Situé en majorité en plein centre urbain, la zone de Lambaréné est sans cesse dégradée, coupée, voir grignotée au profit des installations humaines et autres activités anthropiques (remblais, agriculture, déversoir d'ordures, etc.). Cependant, ces zones humides sont encore efficaces et présentent tout de même des processus fonctionnels.

**Photo 3: Contraste entre des habitations et une population de papyrus au quartier Atongowanga**

**Crédit : Fern Mboumbou Makanga, 2020**

Les trois secteurs de conservation de Lambaréné semblent homogènes du point de vue morphologique. En effet, de façon générale, d'une part, des lignes de crête font front à l'Ogooué et, d'autre part, au centre des zones des lignes de crête crée des dépressions sur les extrémités. Les élévations sont faibles dans la zone et varient entre 23 et 48 mètres (figure 75, ci-après).

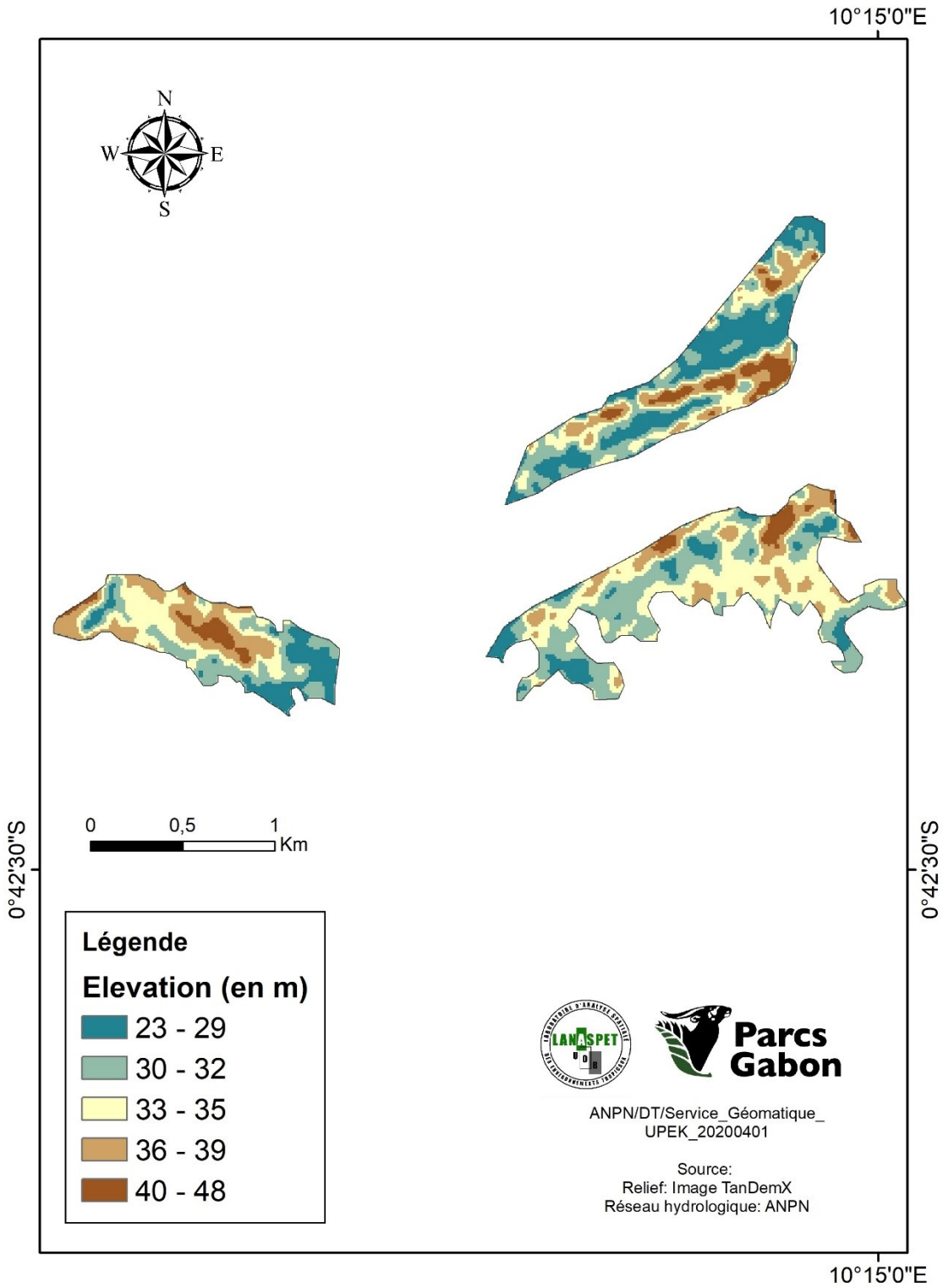



**Figure 75 : Topographie du site de Lambaréné**

Ces zones sont à majorité de forêt inondée (figure 76, ci-après). Les zones de forêt de terre ferme se superposent sur les lignes de crête. On y retrouve également des zones de marais aux alentours des forêts inondées, qui prennent places tous deux dans les

dépressions. Sont aussi observées des savanes sur le compartiment en forme d'île dans l'Ogooué, ; mais aussi du sol nu dans l'une des zones du centre-ville.

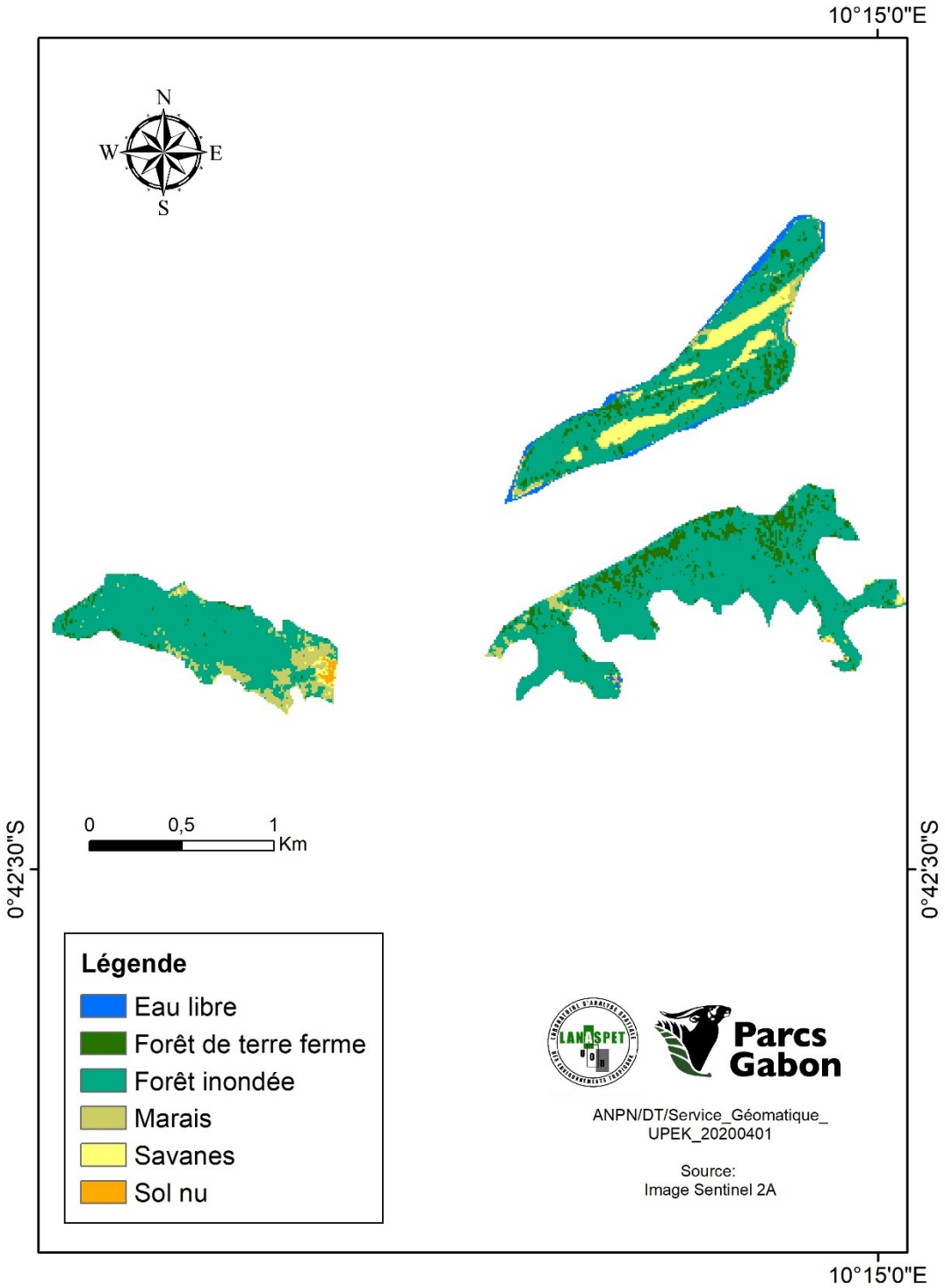



**Figure 76 : Occupation du sol du site de Lambaréné**

Les fonctions sont pour l'ensemble d'intensité moyenne. Bien qu'on enregistre des intensités faibles au niveau des fonctions « dénitrification potentielle » et « écrêtage des

crues », il y a tout de même des secteurs forts, notamment au niveau des fonctions « dénitrification potentielle » et « soutien aux étiages ».

Ce constat illustre bien l'état d'une zone humide enclin aux pressions anthropiques, qui présente toutefois des potentialités. La présence des forêts sur les rives de l'Ogooué est, d'une part, un frein à l'érosion des berges et, d'autre part, sert d'abri temporaire pour certains animaux.

Dans la fonction biodiversité, l'absence d'une intensité faible indique la présence de certains animaux dont les oiseaux d'eau (sur l'ilot, principalement) et des reptiles et petits insectes.

Enfin, cette zone apparaît encore plus importante pour réguler les crues et les étiages au niveau de la ville de Lambaréné. Elles constituent l'une des dernières zones de la ville capable de contenir les crues. Leur artificialisation pourrait être source d'accroissement des inondations et d'érosion des berges de la ville.

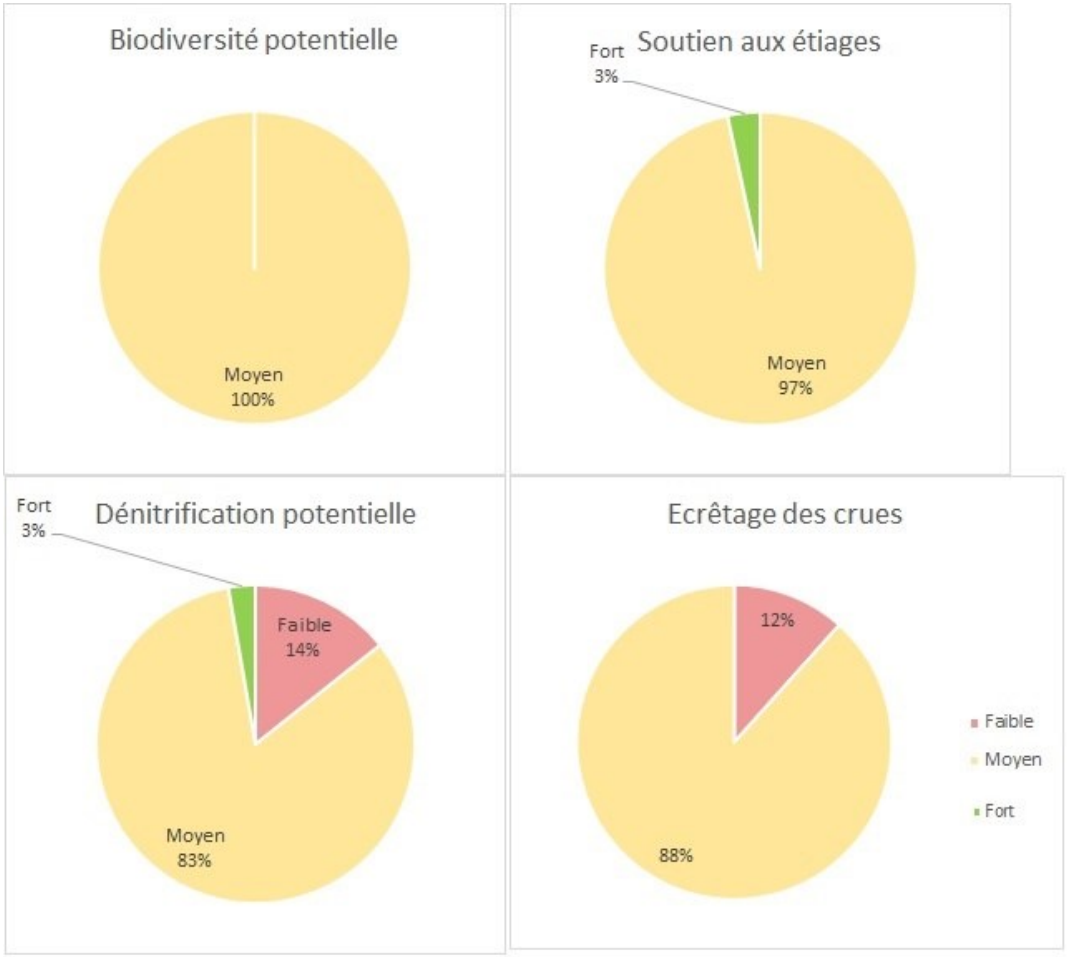



**Figure 77 : Processus fonctionnel du site de Lambaréné**

### 8.3.2. La zone de conservation du lac Azingo

D'une superficie de 1856 ha, la zone de conservation d'Azingo est située au nord du lac qui porte le même nom. Elle englobe les prairies flottantes sur le bord du lac, ainsi que le marécage et la forêt inondée autour de la rivière Oronga, l'un des tributaires du lac. Il est distant d'environ un kilomètre de la réserve présidentielle et ne compte aucun village dans son voisinage immédiat.

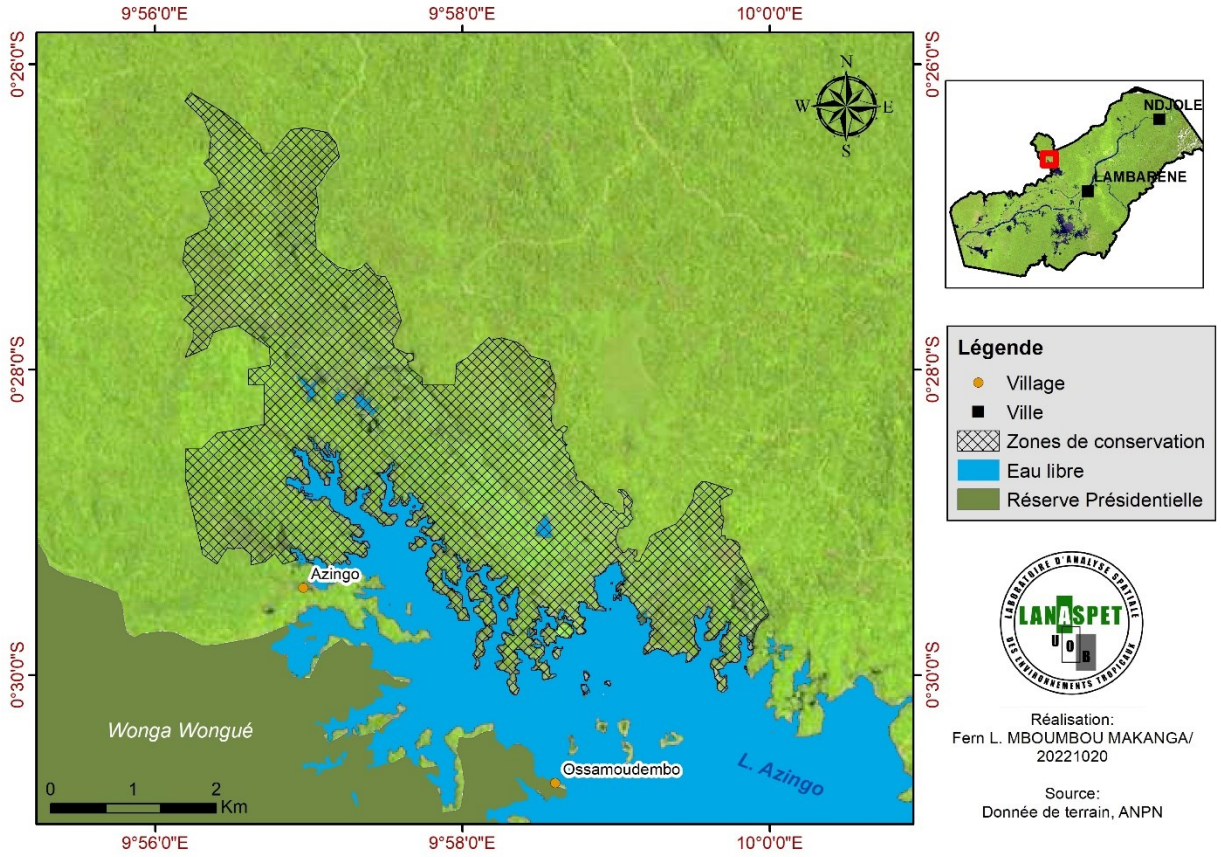



**Figure 78 : de la zone du lac Azingo**

**Photo 4: Prairie flottante sur la rivière Oronga**
**Crédit : Guichard NDZENG OBIANG, 2020**

Le relief du site est relativement plat, avec des élévations, allant de 15 à 98 mètres. L'altitude moyenne est de 38 mètres. Les secteurs plats occupent la partie centrale et les extrémités, isolés par certaines vallons (figure 79, ci-après).

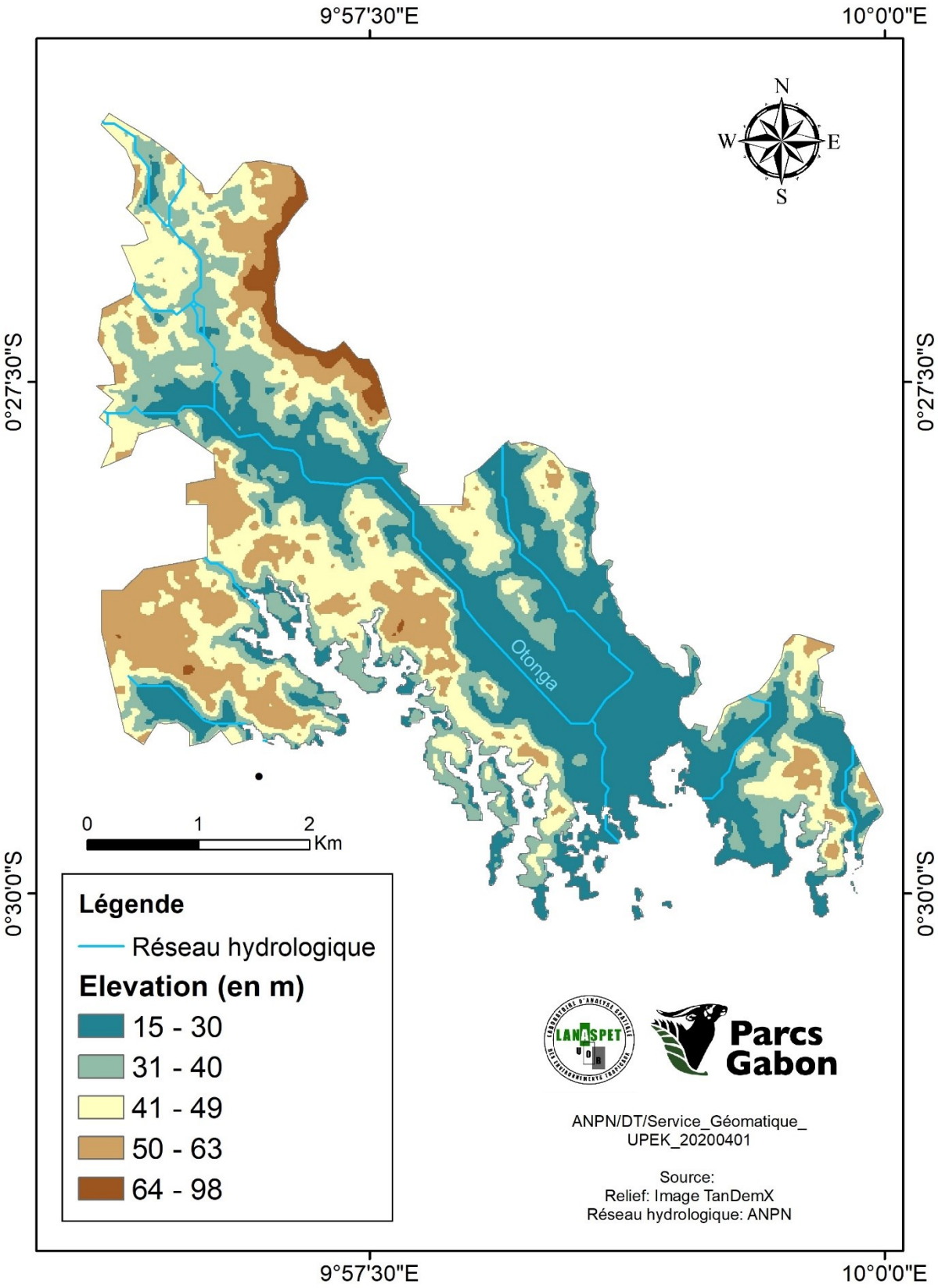



**Figure 79 : Topographie de la zone du lac Azingo**

La zone est majoritairement composée de formation de type humide. En effet, les forêts marécageuses et les marais occupent les parties les plus planes, qui correspondent

aux vallées alluviales des rivières tributaires du lac Azingo. Les forêts de terre ferme occupent les interfluves. Si le site ne compte aucun village dans ses environs immédiats, sa partie est majoritairement délimitée par une route d'exploitation, d'où la présence de sols nus sur la figure 80, ci-après.

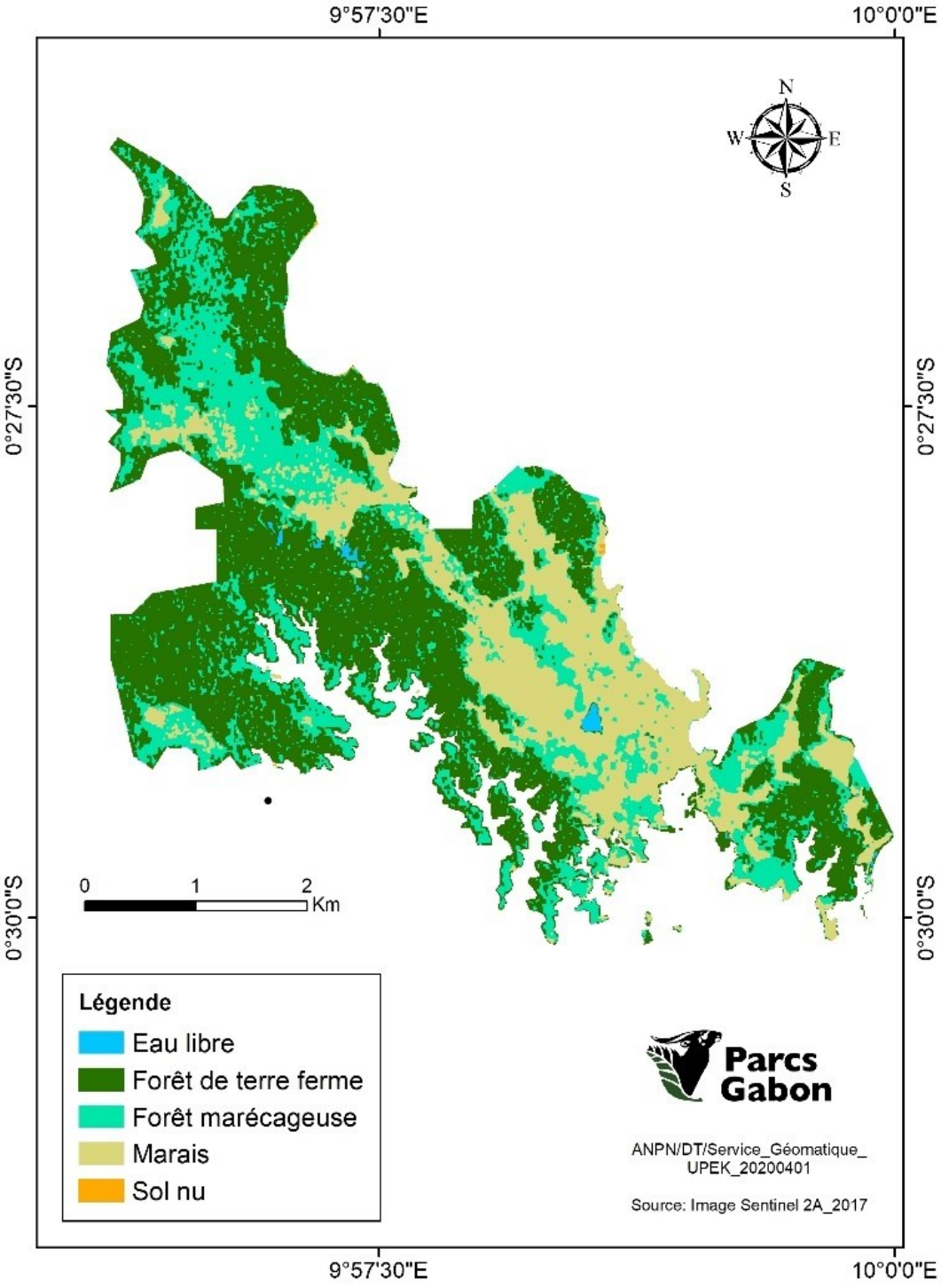



**Figure 80 : Principaux habitats de la zone du lac Azingo**

L'assemblage dominant forêt marécageuse-marais constitue un milieu favorable aux peuplements des animaux filtreurs, raison pour laquelle l'intensité de la fonction « dénitrification potentielle » varie entre forte et très forte. Il s'agit également d'une nurserie, car elle constitue une zone de première importance pour le renouvellement d'une partie de la faune sédentaire (poisson, oiseau, chauve-souris, etc.). Cette zone sert de bassin alimentaire pour les lamantins et les grands échassiers, qui élisent domicile dans ces forêts marécageuses, durant la saison des pluies. Enfin, les intensités des fonctions « soutien aux étiages » et « écrêtage des crues » montrent que la zone joue également un rôle important dans la régulation des niveaux d'eau au sein du lac Azingo et des rivières annexes (Rembo Azingo, Oronga, etc) (figure 81, ci-après).

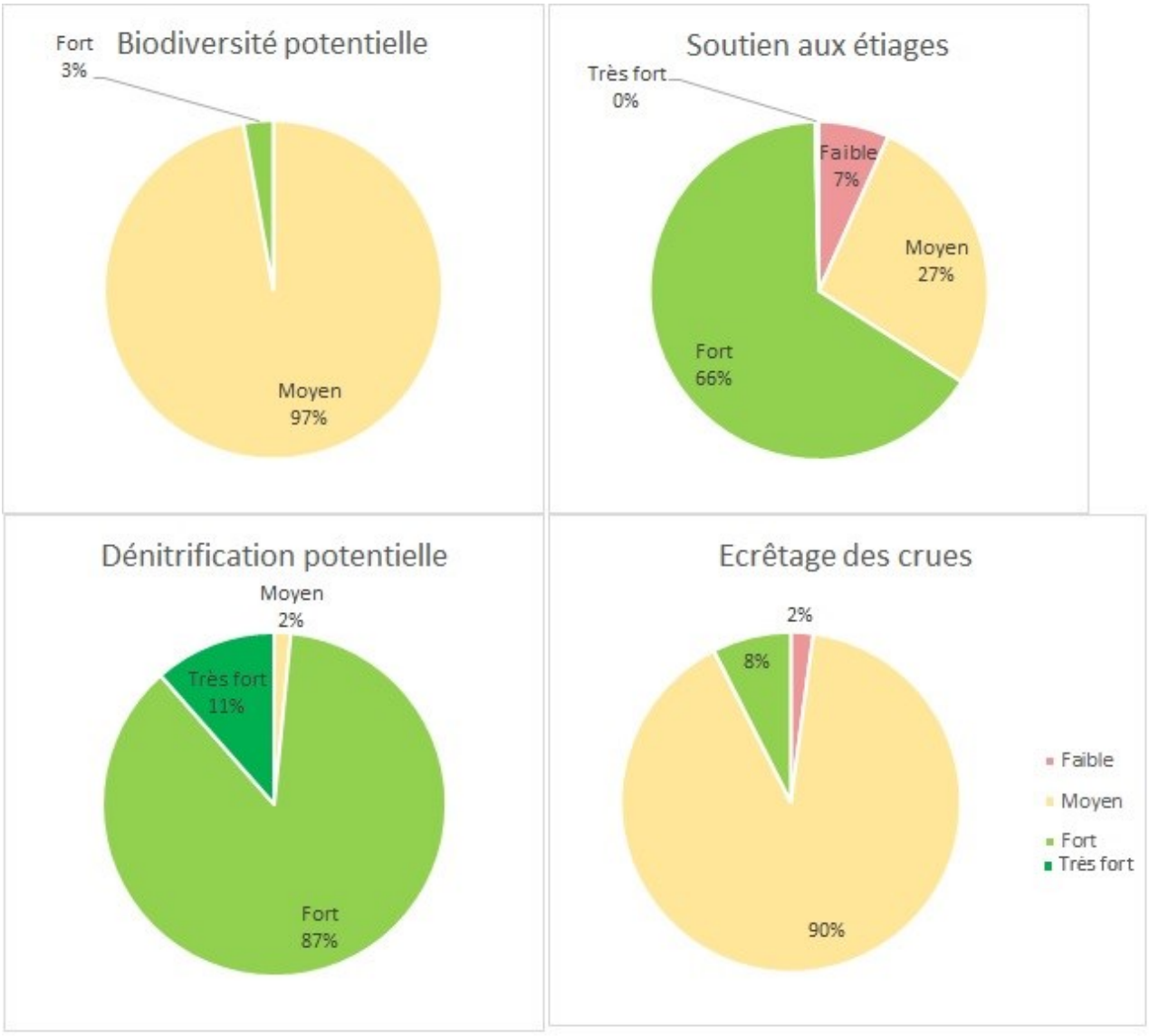



**Figure 81 : Processus fonctionnel de la zone du lac Azingo**

### 8.3.3. La zone de conservation de la rivière Mbiné

La zone de la rivière Mbiné s'étend sur une superficie de 6812 ha. La zone entoure l'ensemble des zones humides formées dans la partie inférieure de la rivière Mbiné. Cependant, notons que l'environnement autour semble très dynamique. A titre d'illustration, y sont recensés au moins une activité forestière active et sept villages situés à moins de 2 km du site (figure 82, ci-après). De plus, une grande partie de la végétation aux extrémités est et ouest est faite de forêts dégradées ; et la route nationale constitue le principal facteur de la limite sud.

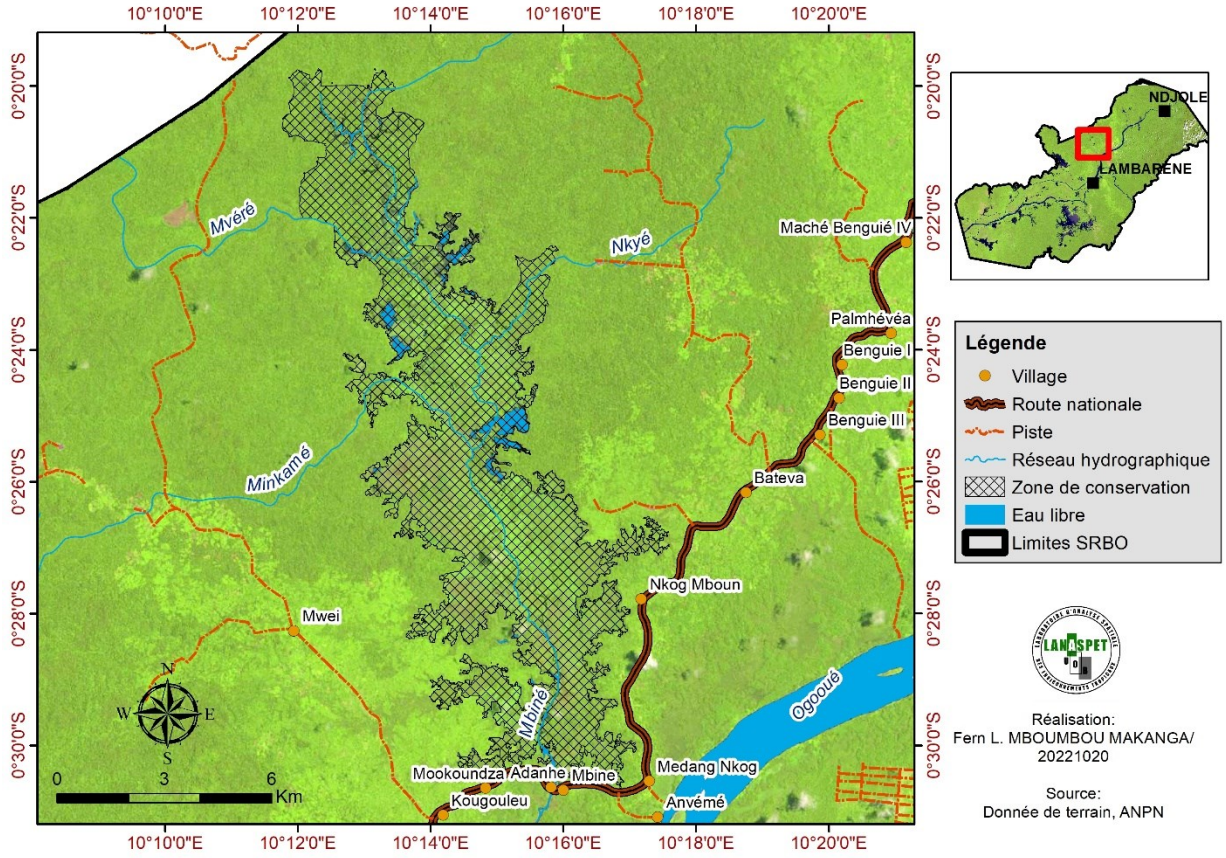



**Figure 82 : Zone de la rivière Mbiné**

L'altitude au sein de la zone de Mbiné varie entre 23 mètres et 101 mètres, avec une altitude moyenne de 40 mètres. La zone est majoritairement plate, avec de fortes élévations dans les secteurs nord et nord-est (figure 83, ci-après). La partie centrale, relativement plane, constitue la zone alluviale de la Mbiné, principale rivière. Au sein de la zone, il reçoit des apports importants, principalement des rivières Mvéré, Nkyé et Minkamé ; la pente faible étant favorable à la mise en place des marécages.

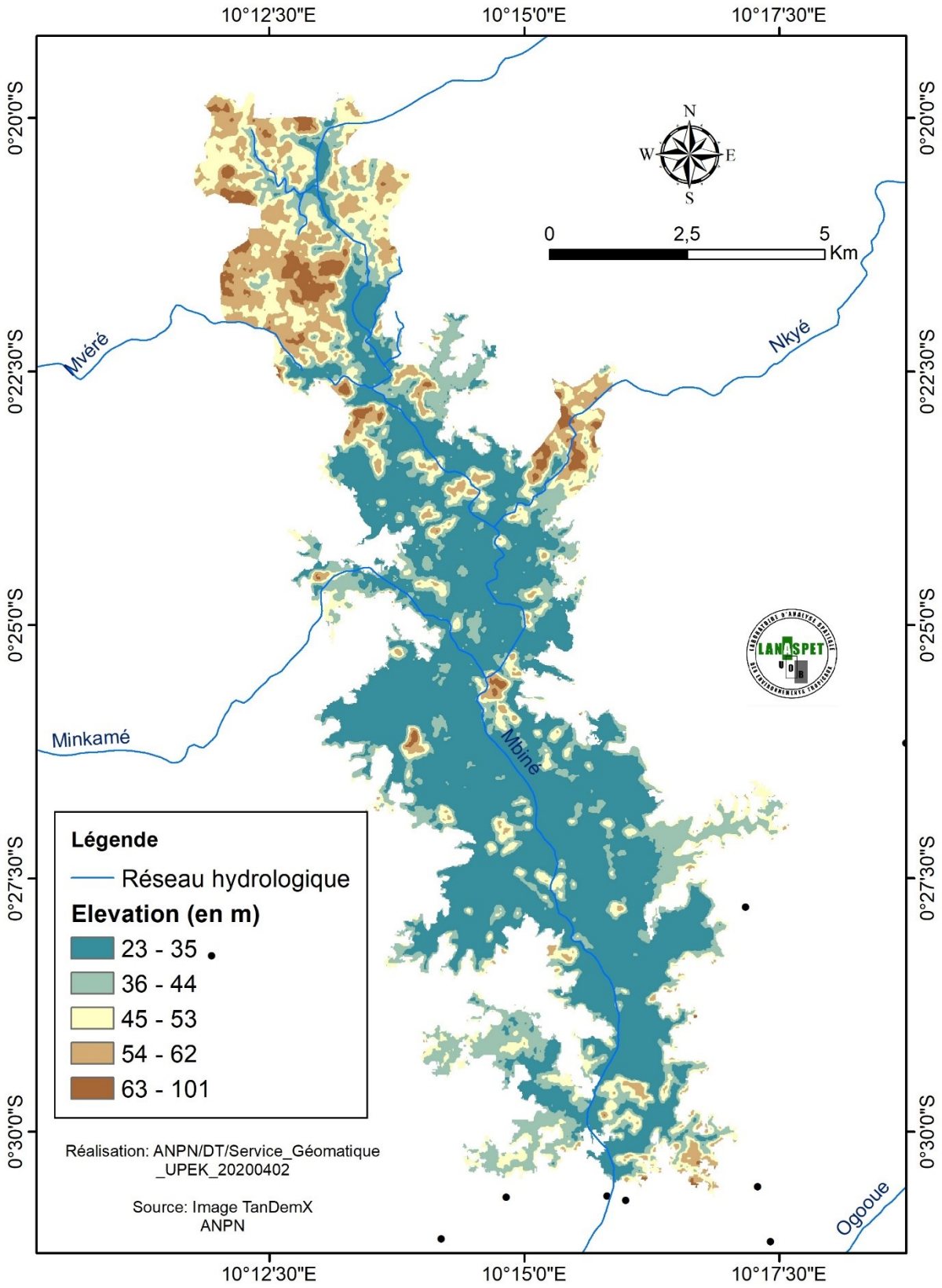



**Figure 83 : Topographie de zone de la rivière Mbiné**

La zone marécageuse occupe la plaine centrale et constitue l'habitat majoritaire du site. A en juger par l'intensité des fonctions « Dénitrification potentielle » (et « biodiversité potentielle » (figure 84, ci-après) il s'agit d'une zone importante pour l'habitat, l'alimentation et la reproduction des espèces. Bien que les études soient quasi-inexistantes dans la zone, les quelques données disponibles indiquent que les zones humides de cette zone font partie des zones de nourrissage des grands échassiers, en période de nidification.

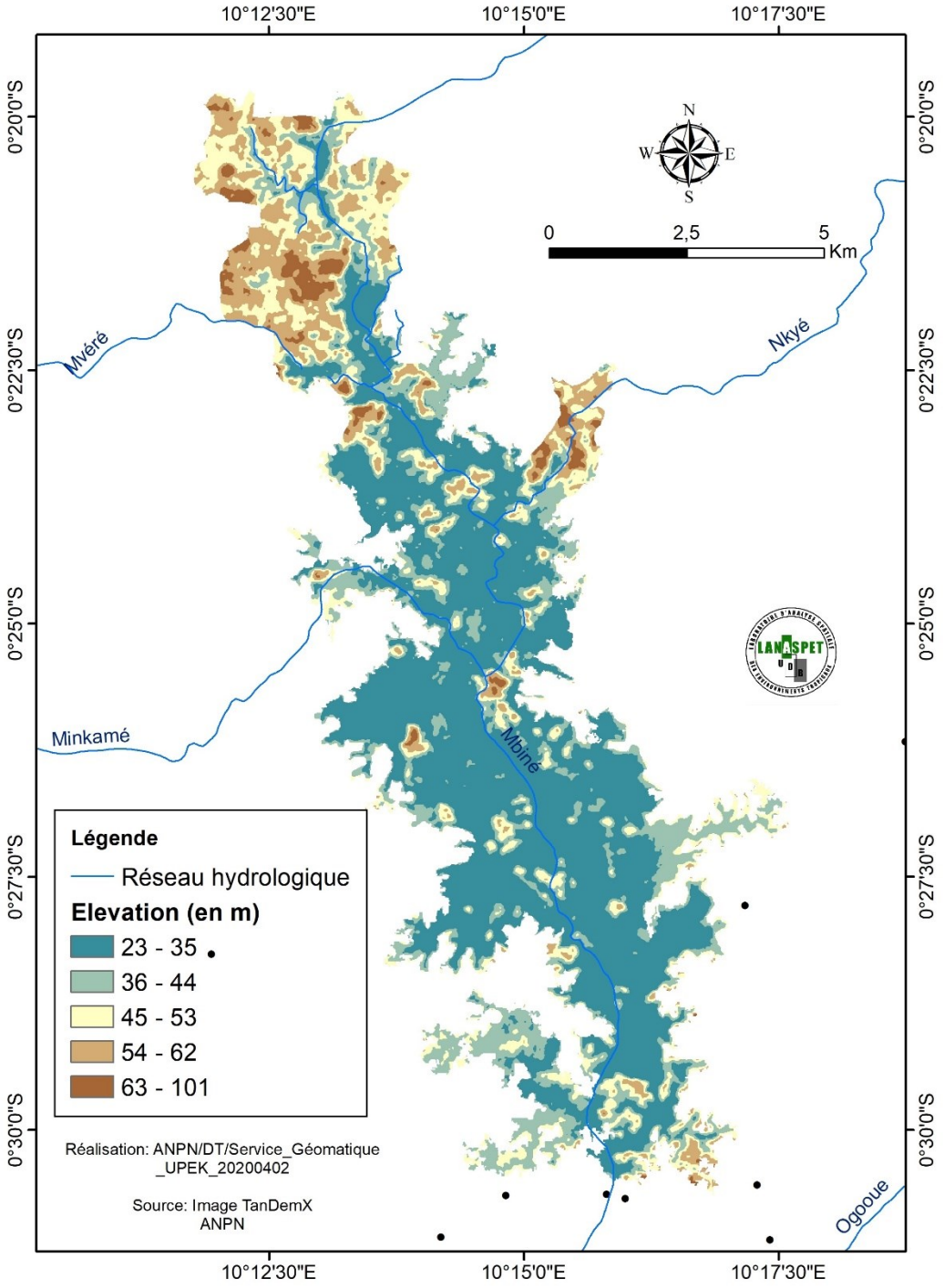



**Figure 84 : Occupation du sol de la zone de la rivière Mbiné**

De plus, lors de nos investigations récentes sur le terrain, nous avions pu constater que la zone, intègre une population importante d'hippopotames. Il ne faut pas omettre que le site abrite aussi une espèce de flore endémique à la région (*Dacryodes ebatom*).

Par contre si la fonction « soutien aux étiages » présente 44% de zones à intensité très faible à faible, l'intensité de la fonction écrêtage des crues varie de moyenne à fort (figure 85, ci-après)

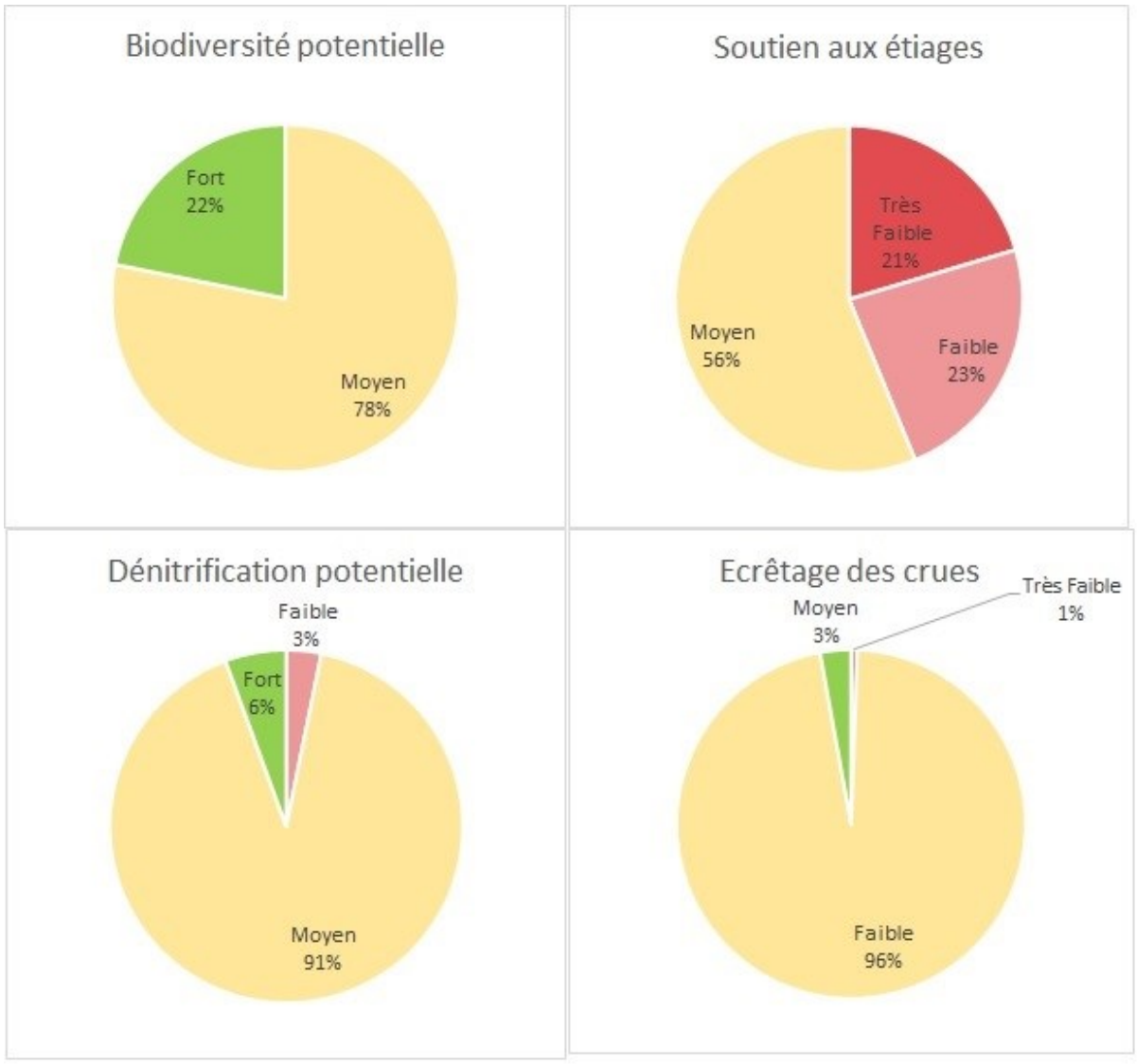



**Figure 85 : Processus fonctionnel de la zone de la rivière Mbiné.**

### 8.3.4. La zone de conservation d'Ebel Abanga

La zone d'Ebal Abanga s'étend sur une superficie de de 6706 ha (figure 86, ci-après). Elle a été recoupée, non pas par rapport aux forêts marécageuses très denses dans la zone, ni par rapport aux marécages trop éparses. Mais, ont été prises en compte les rivières et ruisseaux entourant la zone à haute valeur écologique. Les principaux éléments hydrologiques sont la rivière Abanga, qui prend sa source en Guinée Équatoriale et le lac Nguéné. Le seul et unique village proche, à 500 mètres, est Ebel Abanga.

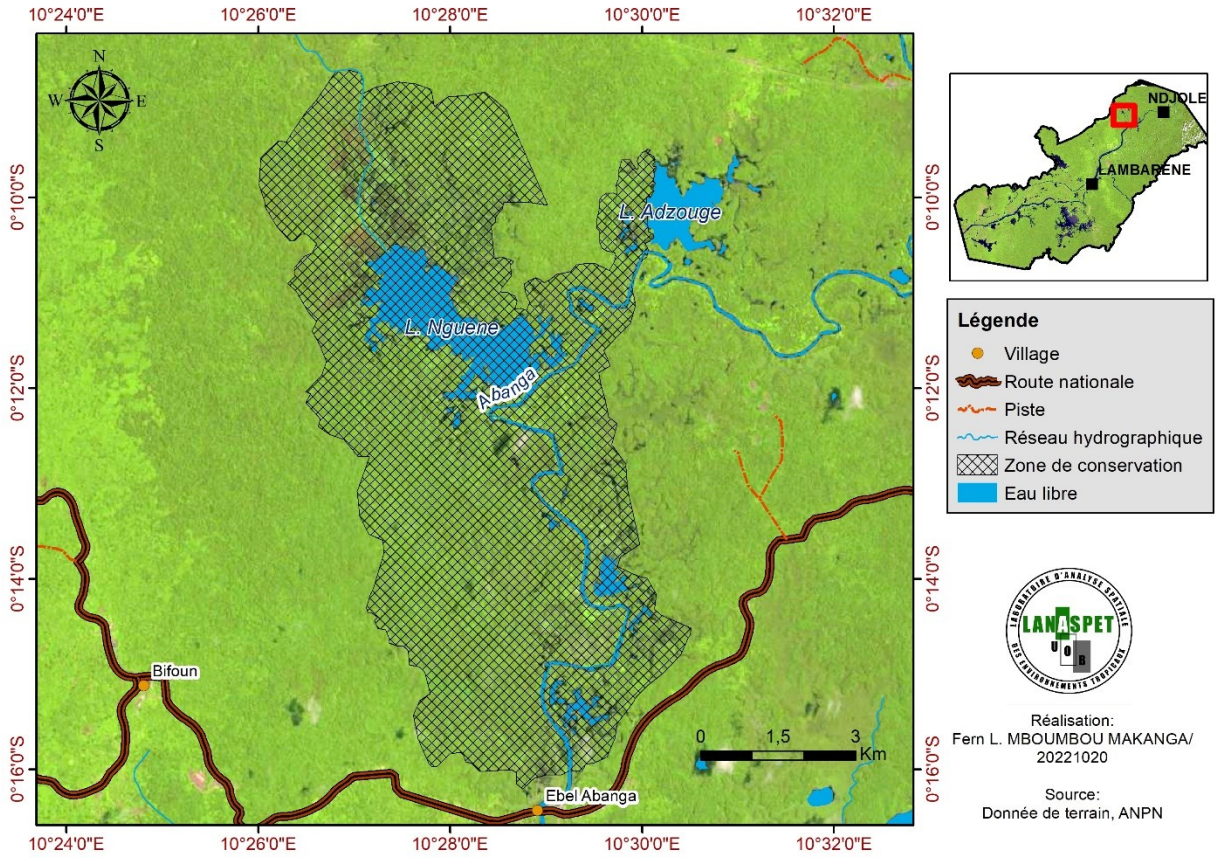



**Figure 86 : Zone d'Ebel Abanga**

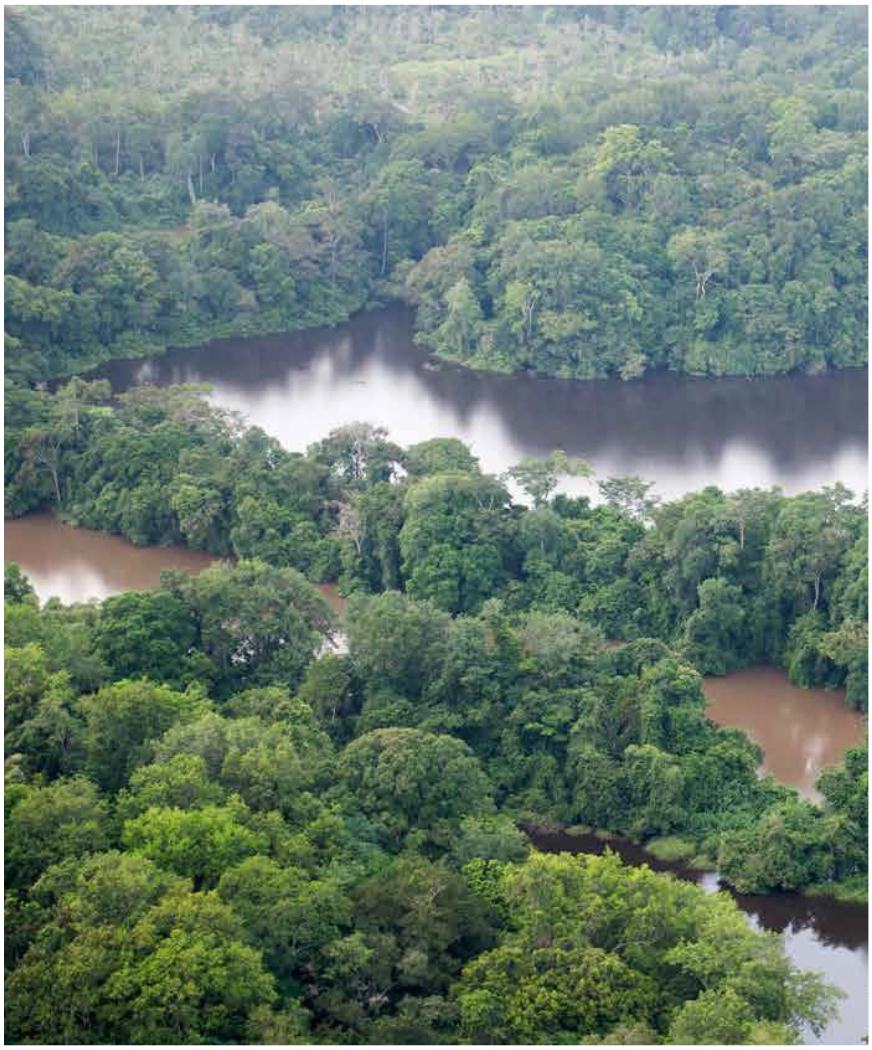


**Photo 5: Contraste entre les eaux noires du lac Nguéné (en haut) et les eaux brunes de la rivière Abanga (en bas)**

Source : Vande Weghe & Stevart, 2017.

Le relief de la zone est excessivement vallonné. L'altitude varie entre 12 m et 103 mètres, avec une altitude moyenne de 50 mètres. Les secteurs les plus bas sont ceux des plans d'eau et de la plaine alluviale de la rivière Abanga (figure 87, ci-après).

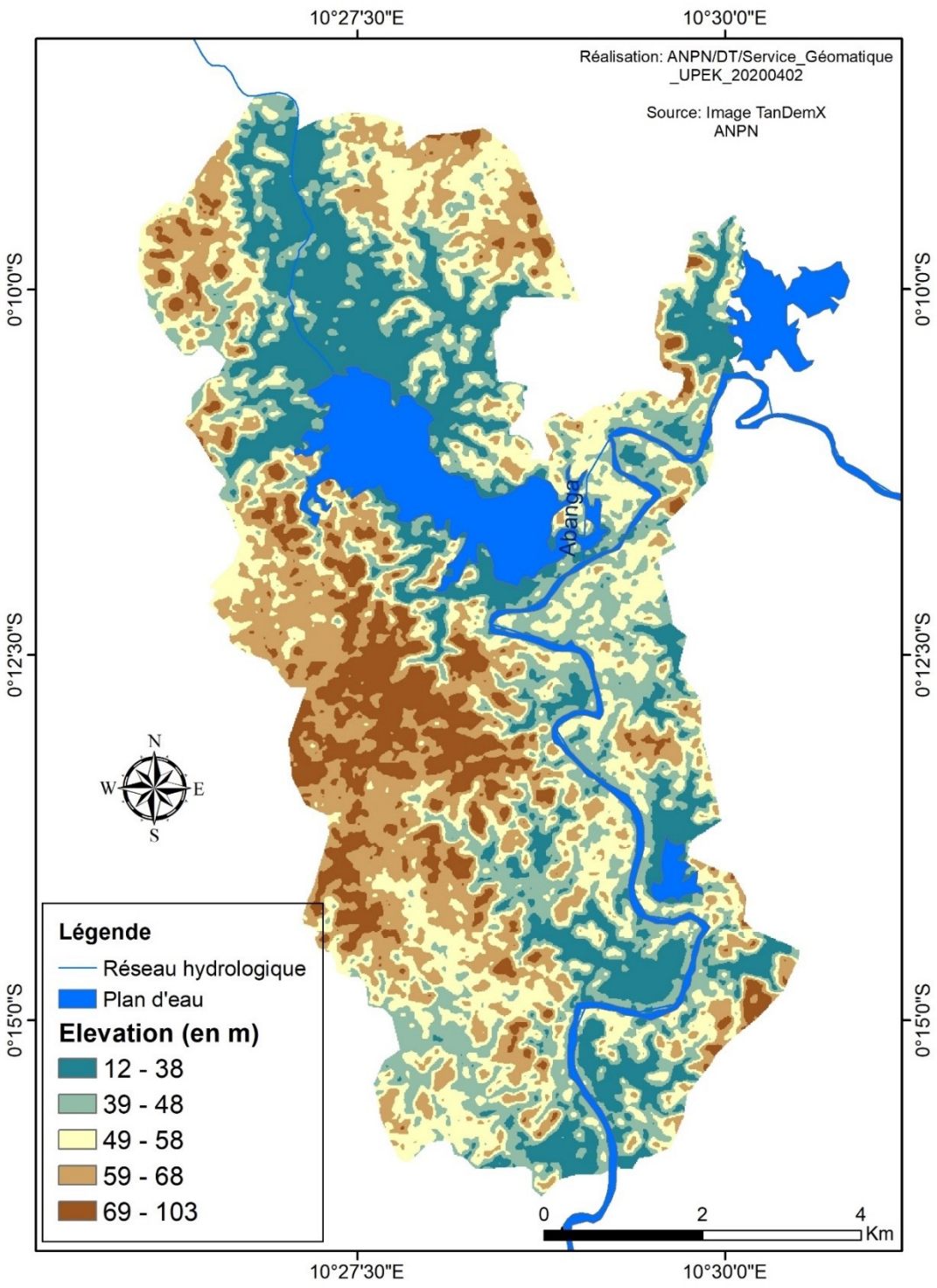



**Figure 87 : Topographie de la zone d'Ebel Abanga**

La majorité des habitats du site sont les forêts ripicoles dense et étroites et les forêts marécageuses, souvent ornées de ceintures de *Raphia*. Au-delà, s'étendent des marais ouverts et des forêts dégradées (figure 88, ci-après).

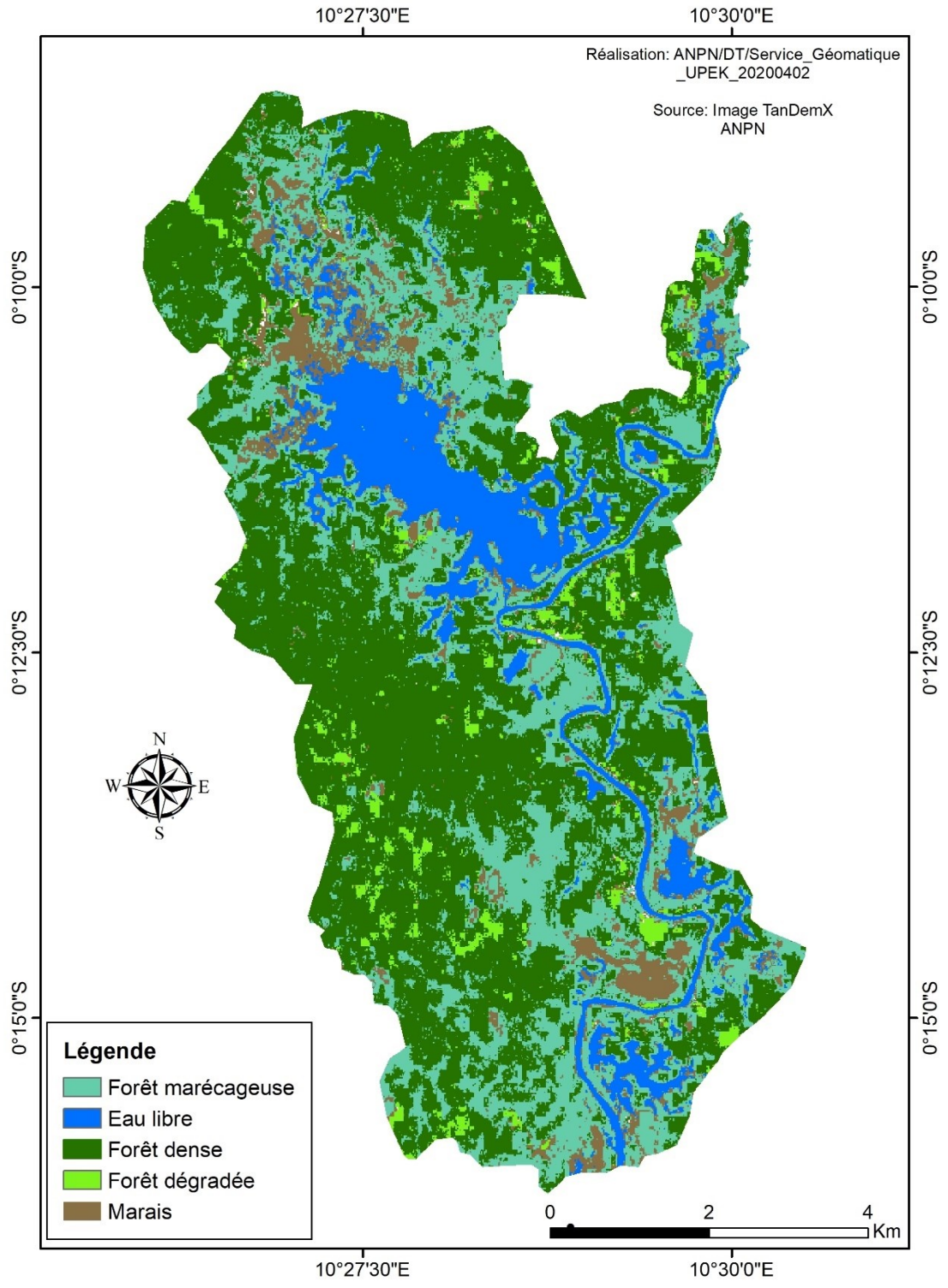



**Figure 88 : Occupation du sol de la zone d'Ebel Abanga**

La biodiversité potentielle est forte à 83% dans la zone. L'ensemble forêt dense, forêt inondée, marécages et plans d'eau présente un complexe largement favorable à l'alimentation, l'habitat et la croissance d'une biodiversité riche et variée. Elle constitue, à

titre d'exemple, une zone d'alimentation pour les grands échassiers et une zone favorable à l'habitat des lamantins.

Aux côtés de la biodiversité potentielle, la fonction « dénitrification potentielle » a une intensité qui varie de fort à très fort (figure 89, ci-après). Les eaux présentes dans les forêts marécageuses et les marais disposent de nombreux animaux filtreurs, qui permettent de fixer les sédiments et les éventuelles pollutions Aussi, au confluent de l'Abanga et du lac Nguéné, est observable un phénomène de mélange des eaux noires du lac et les eaux brunes turbides de la rivière.

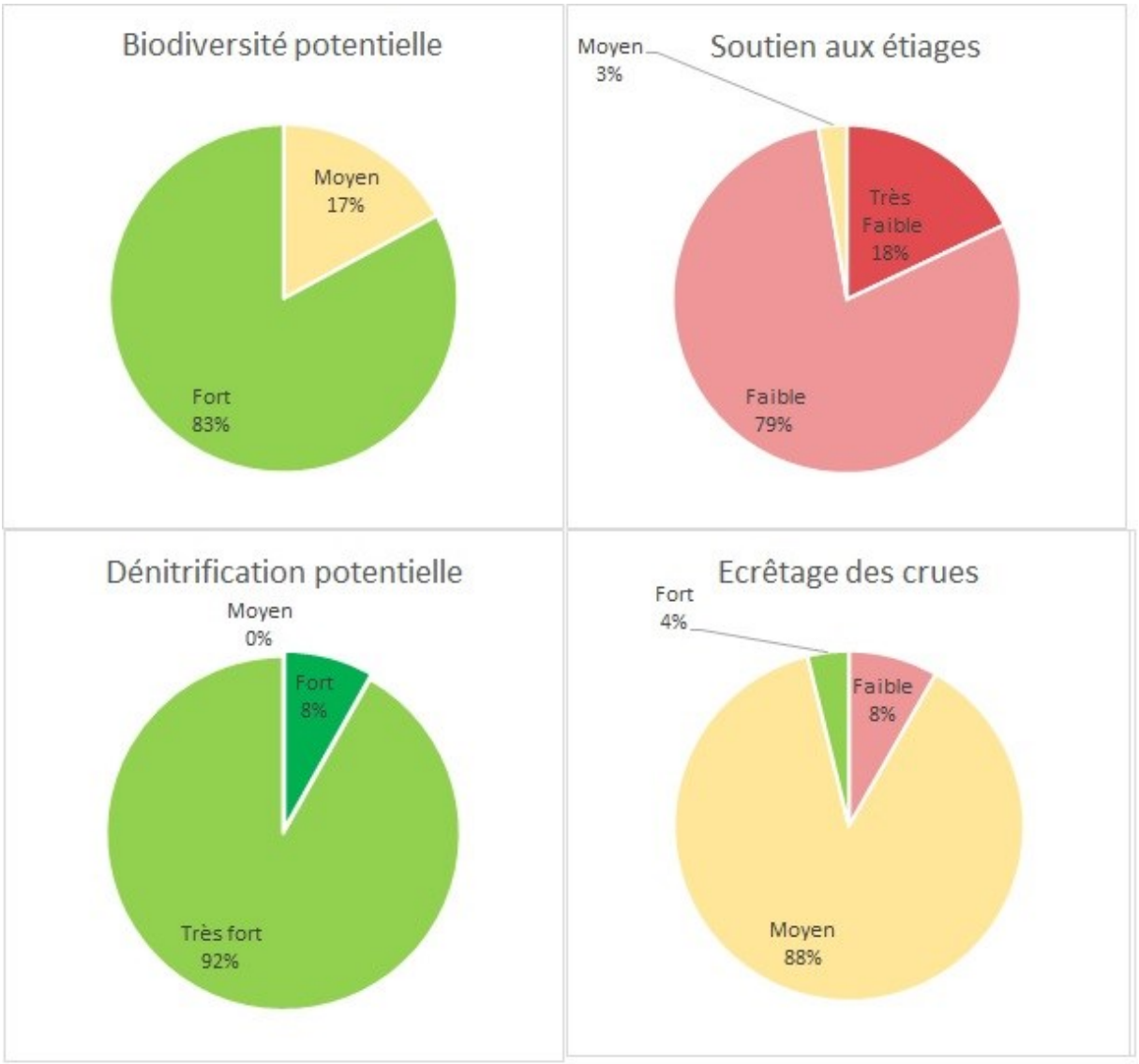



**Figure 89 : Processus fonctionnel de la zone d'Ebel-Abanga**

### 8.3.5. La zone de conservation de la rivière Ngounié aval

S'étendant sur 21 414 ha, la zone de la Ngounié aval se situe à la limite nord-est du site, au niveau où la rivière Ngounié pénètre dans le site Ramsar du Bas Ogooué (figure 90, ci-après).

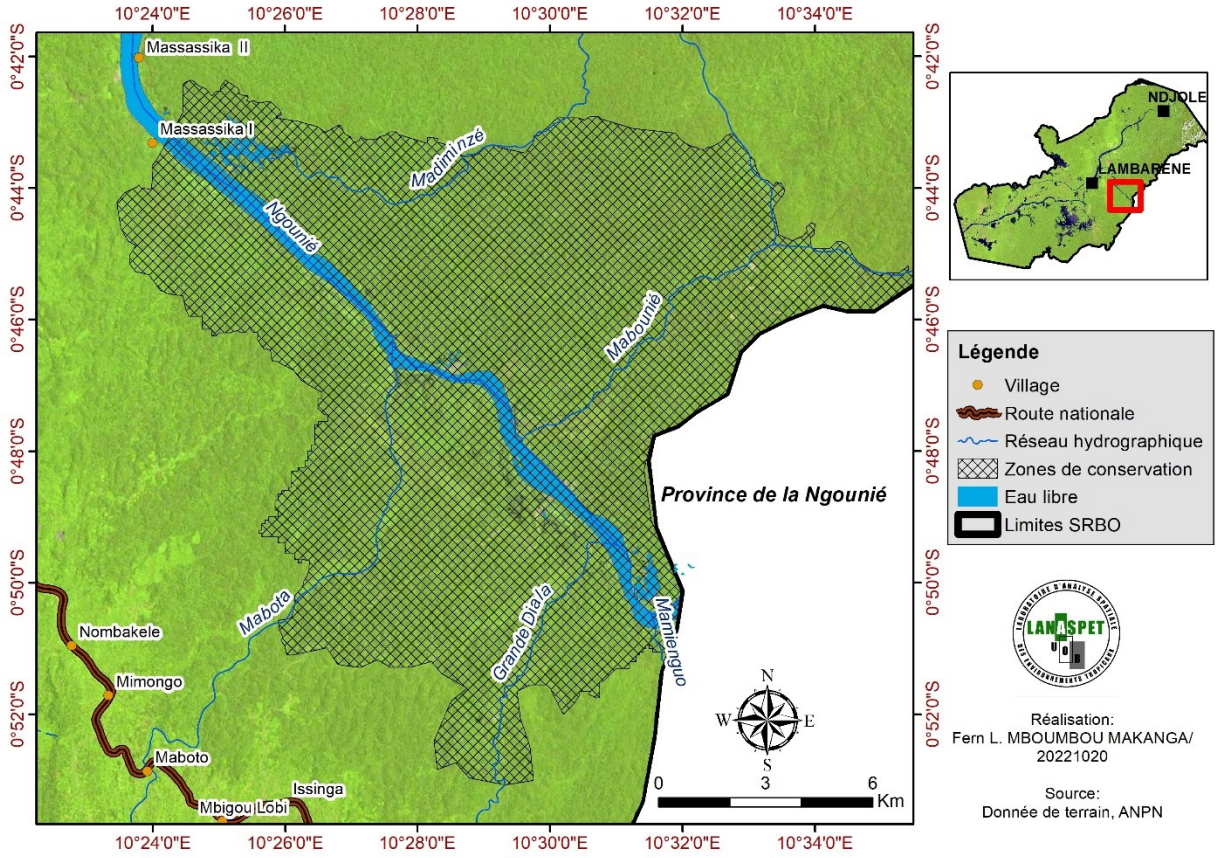



**Figure 90. Zone de la rivière Ngounié aval**

Les villages les plus proches son Massassika I et II, respectivement à 0,3 km et 1,2 km. Outre la piste traversière, la quasi-totalité des habitats y est encore intacte. La majorité de la zone est recouverte de forêt dense et de forêt marécageuse, de part et d'autre de la vallée de la Ngounié. Egalement quelques marais et sols nus témoignent de la faible emprise de l'homme sur le milieu (figure 91, ci-après).

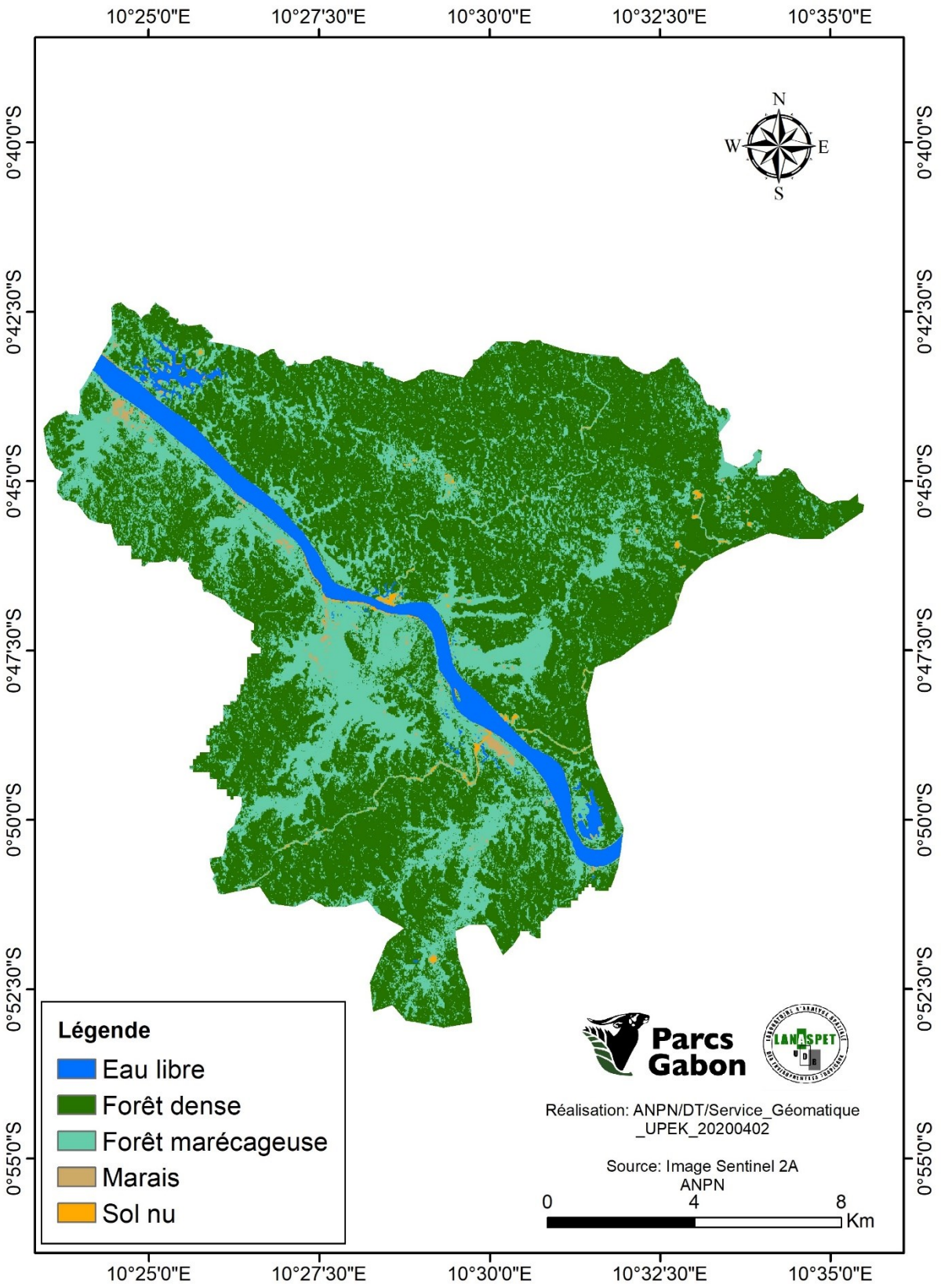



**Figure 91 : Occupation du sol de la zone de la rivière Ngounié Aval**

Le site est excessivement drainé en majorité par les petits cours d'eau. Les principales rivières qui se jettent dans la Ngounié, au niveau de la zone sont :

- sur la rive gauche : Mabota, Grand Diala et  Mamiengué ;
- sur la rive droite : Mandjibé, Madiminzé et Mabounié.

Sur L'ensemble du site, les élévations varient entre 12 et 197 mètres (figure 92, ci-après). La plaine alluviale de la Ngounié, qui occupe la partie centrale, est le relief dominant du site.

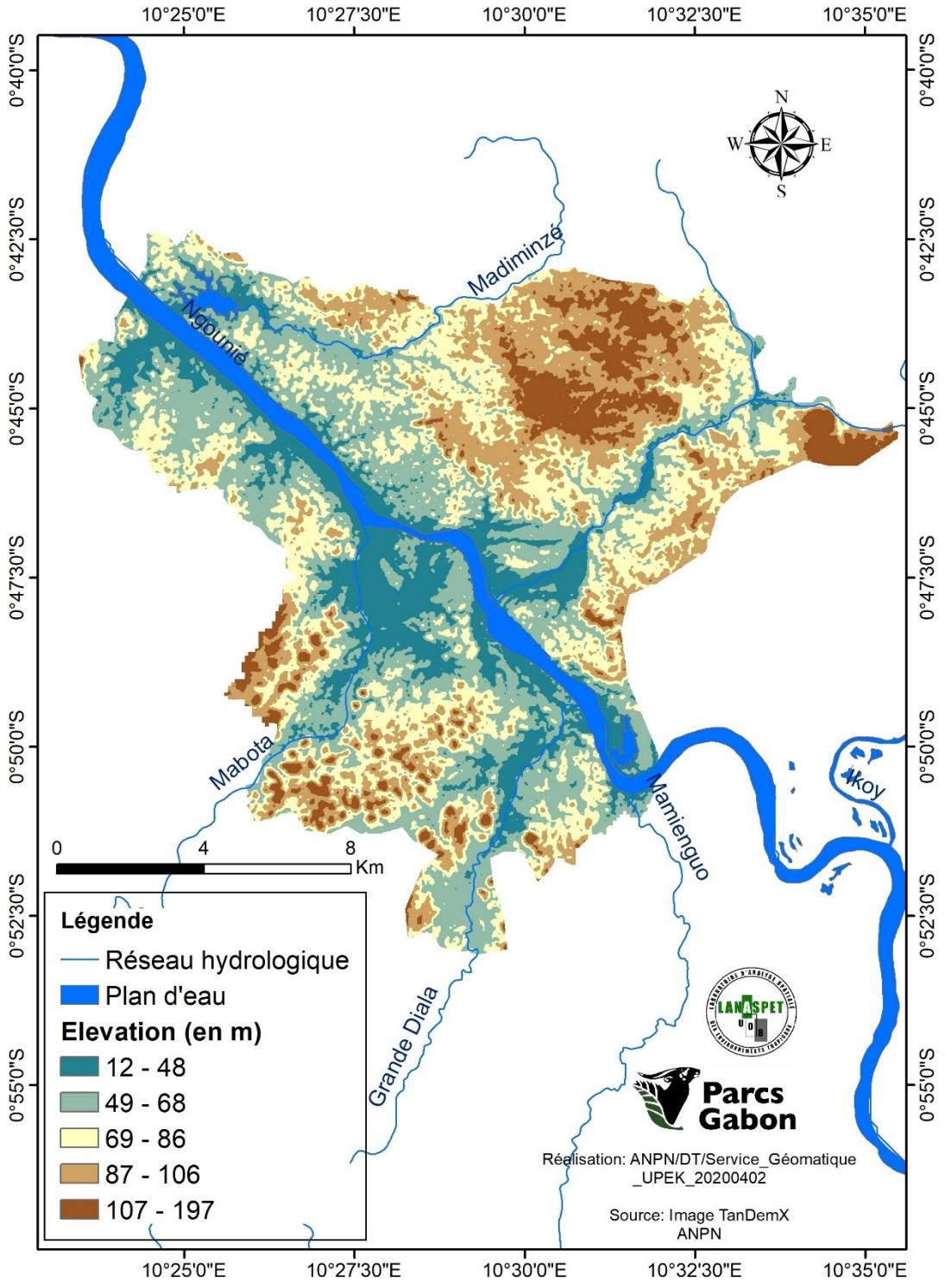



**Figure 92 : Topographie de la zone de la rivière Ngounié Aval**

L'intensité de la « fonction « dénitrification potentielle » est globalement très forte dans la zone à cause des forêts (figure 93, ci-après). De même, la fonction « biodiversité potentielle » est majoritairement d'intensité moyenne à forte. La zone, a plus de 50 espèces de flore classée sous statut de la liste rouge UICN. Si le soutien à l'étiage est important, l'écrêtage de crue ne l'est pas.

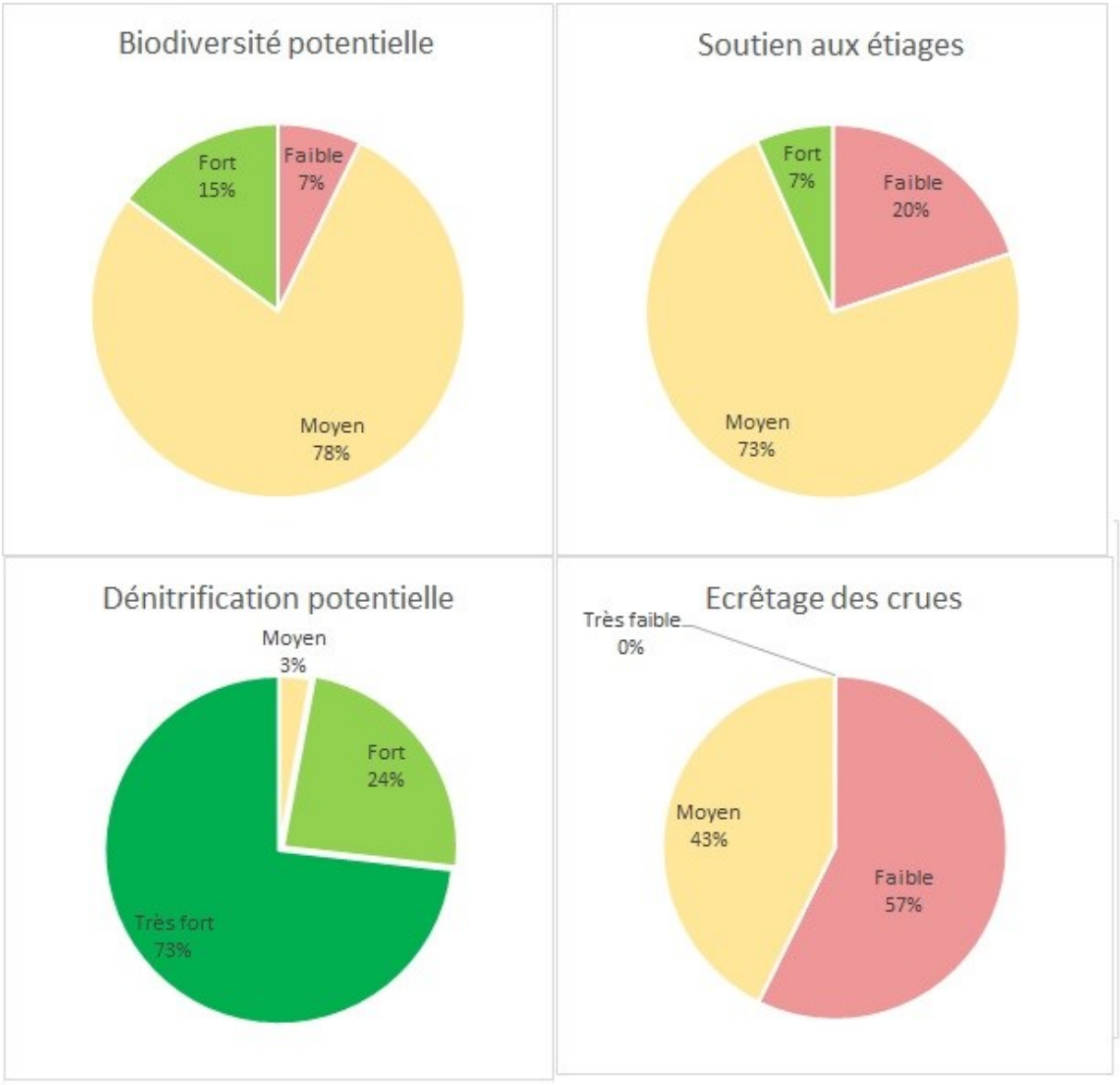



**Figure 93 : Processus fonctionnel dans de la zone de la rivière de Ngounié aval**

### 8.3.6. La zone de conservation du lac Evaro

La zone de conservation du lac Evaro est voisine à la zone de la Rembo Ouango, le bras droit de l'Ogooué en aval de Lambaréné. Evaro est la plus grande zone de conservation. Elle s'étend sur 26 864 ha et couvre d'immenses marécages de part et d'autre du bras gauche de l'Ogooué (figure 43, ci-après), à environ 15 kilomètres au sud de la ville de Lambaréné. EIle couvre de nombreux villages, tels que : Tranquille, Nkang, Douaniemena, sur le lac Onangué ; Amendjet, Owibiano et Ompomwana sur l'Ogooué ; etc.

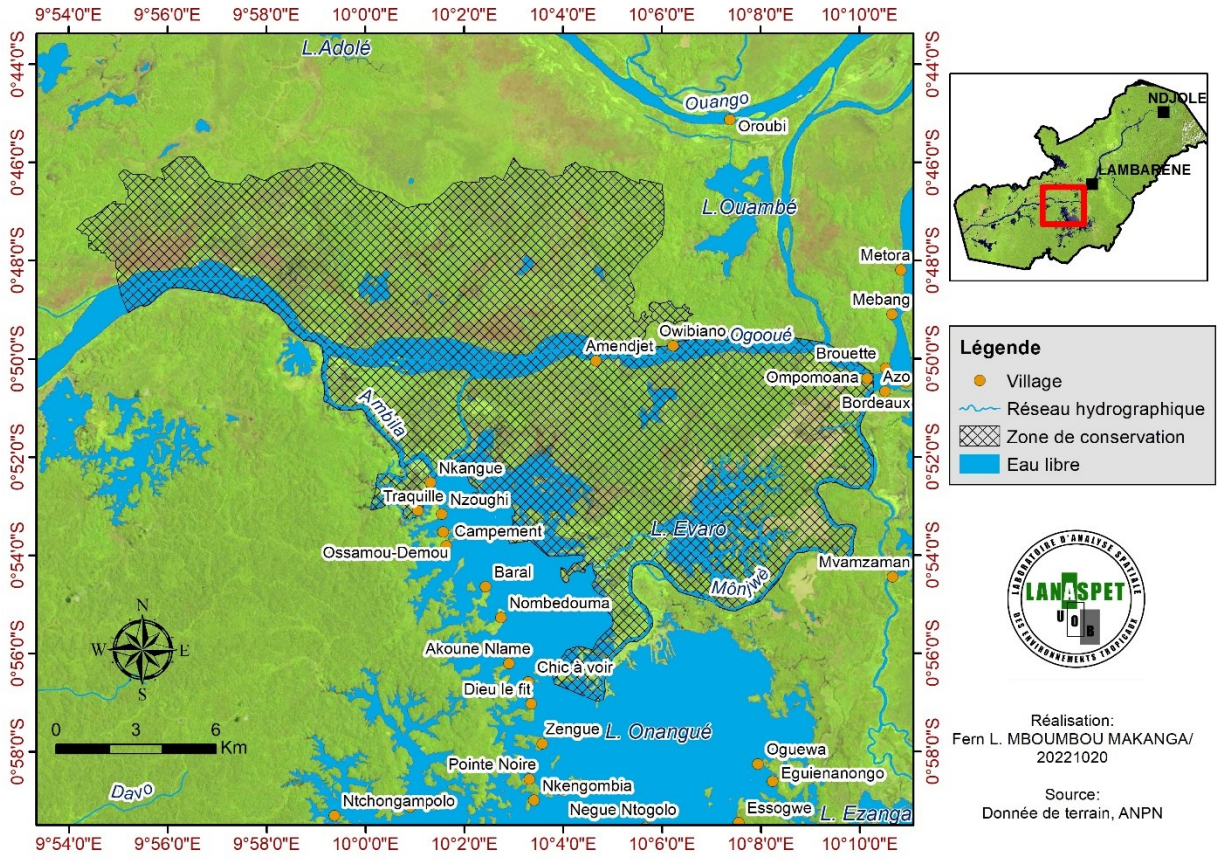



**Figure 94 : zone du lac Evaro**

La composition paysagère est diversifiée et se compose majoritairement de forêt marécageuse. Dans certaines petites baies, existent des espaces d'eau libre entre la rive proprement dite et les papyraies où poussent des massifs de *Nymphaea*. Côté terre, le fond du paysage est formé par des forêts côtières à *Aucoumea* très dégradées par les exploitations répétées et localement aussi par des feux récents allumés par des populations immigrantes originaires du Nord-Gabon. On y retrouve également des savanes sèches et saisonnièrement inondées (figure 95, ci-après).

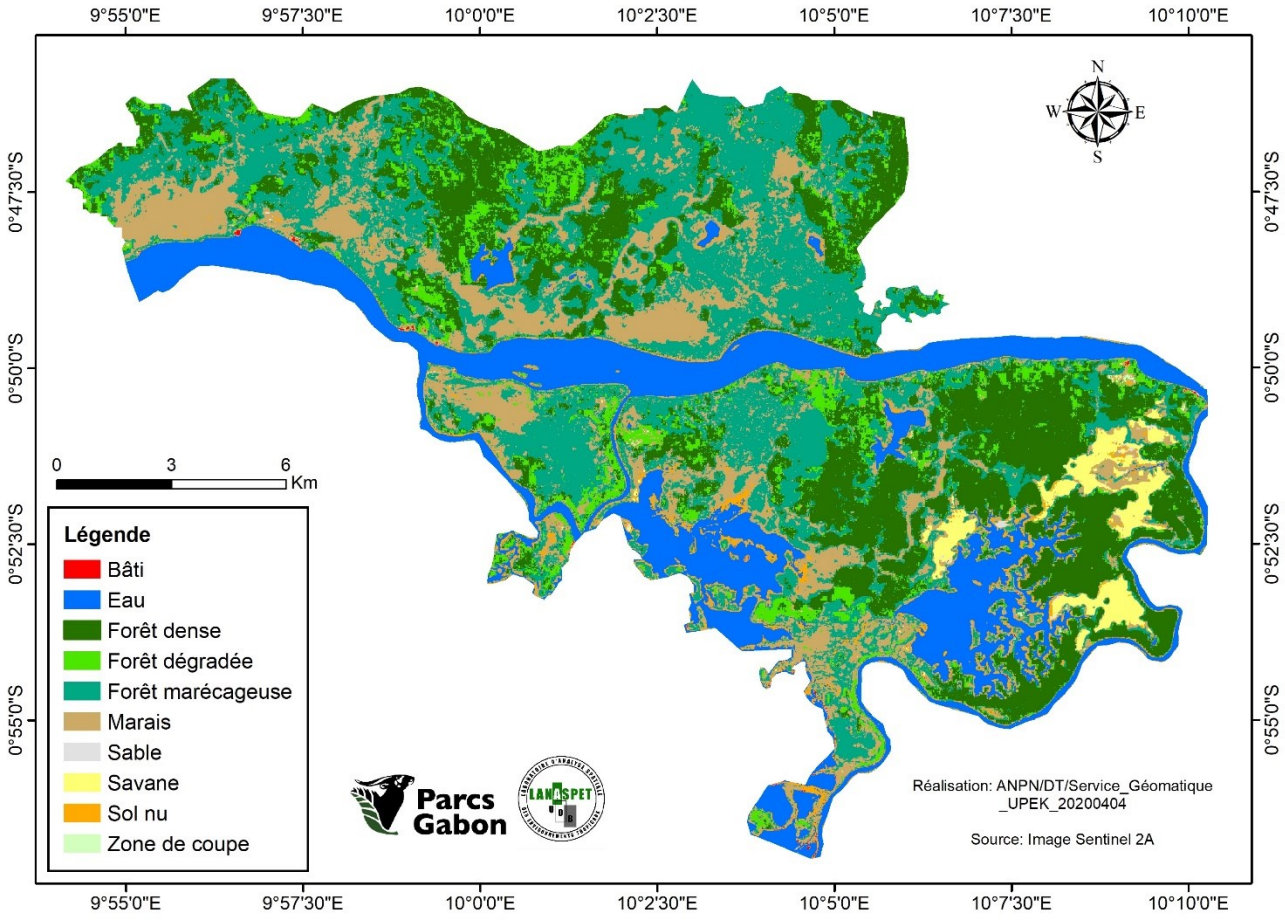



**Figure 95 : Occupation du sol site de la zone du lac Evaro**

L'essentiel de la topographie est fait de basses altitudes (7 à 29 m), avec des ilots forestiers qui surplombent les plaines, avec des hauteurs comprises entre 51 et 168 m. Les principaux ensembles hydrographiques sont les lacs Onangué, Evaro et les petits plans d'eau de la plaine alluviale (figure 96, ci-après).

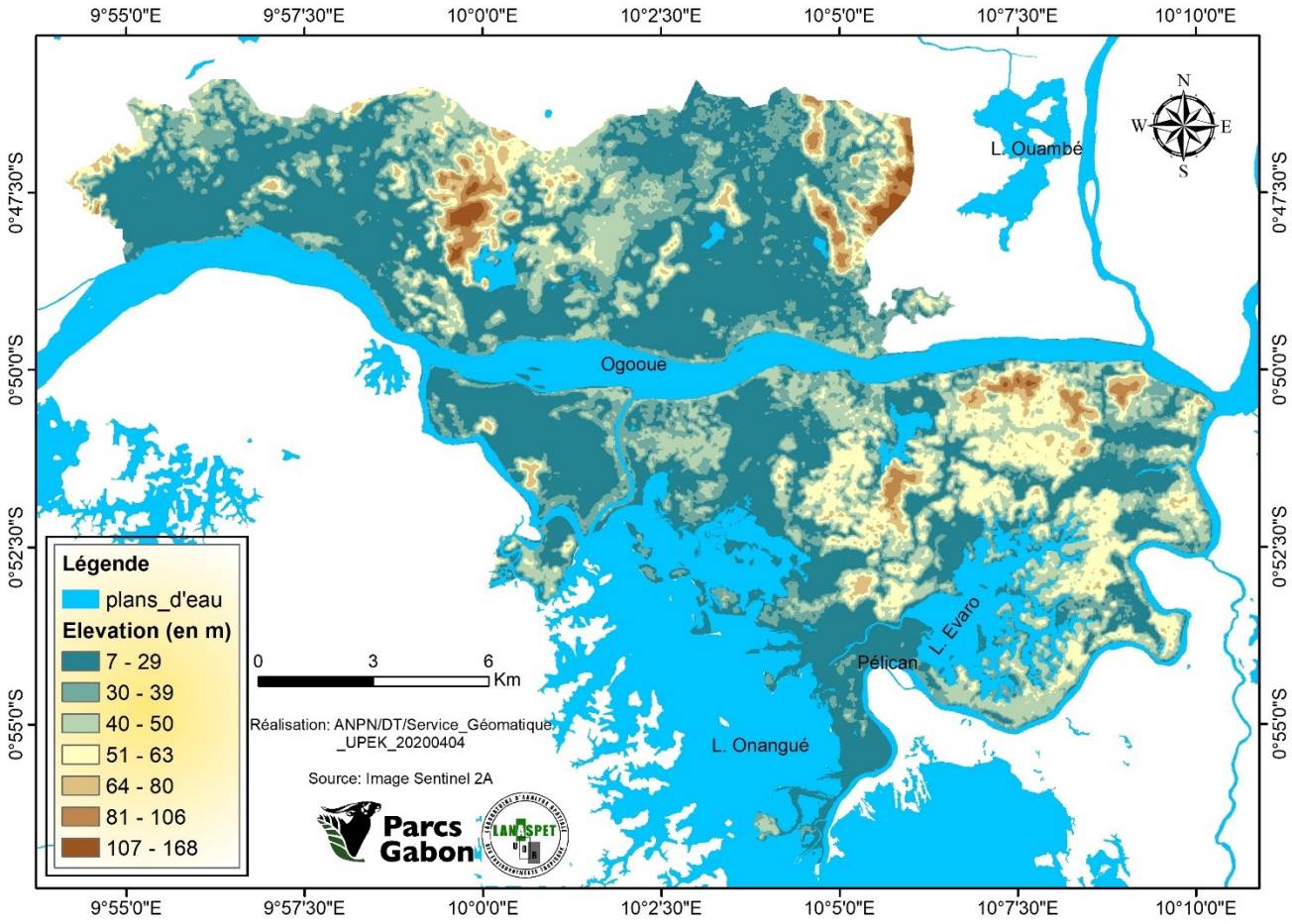



**Figure 96 : Topographie de la zone du lac Evaro**

L'hétérogénéité des habitats est sans nul doute le corollaire d'une éventuelle biodiversité riche et variée. L'intensité de « la fonction biodiversité », forte à 70 %, confirme aussi cette hypothèse. En effet, si la grande faune ne semble pas au mieux représentée dans la zone, il est avéré qu'elle sert, cependant, de zone de nourrissage et d'habitat pour les oiseaux. Les relevés GPS mis à notre disposition se chiffre à 347. Ces colonies ou espèces d'oiseaux sont majoritairement présents à l'intérieur du delta lacustre des pélicans, ainsi que sur les rives de la même rivière Pélican.

La zone est aussi un habitat favorable pour les lamantins, comme en témoignent les données d'observation et de chasse. De même elle est reconnue comme étant la zone abritant une population importante d'hippopotame. Selon les critères UICN, on y retrouve également une espèce de grenouille, endémique, notamment la grenouille des flaques variable *(Phrynobatrachus auritus*). Les points GPS, mis à notre disposition, font également mention de la présence d'une espèce de flore « vulnérable », de la famille des Malvaceae le Niangon (*Tarrietia densiflora*).

Au vu de l'intensité de la fonction, la zone soutient fortement les étiages en saison sèche dans les lacs, les rivières et le fleuve Ogooué. Par contre, l'écrêtage des crues est moyen dans l'ensemble (figure 97, ci-après).

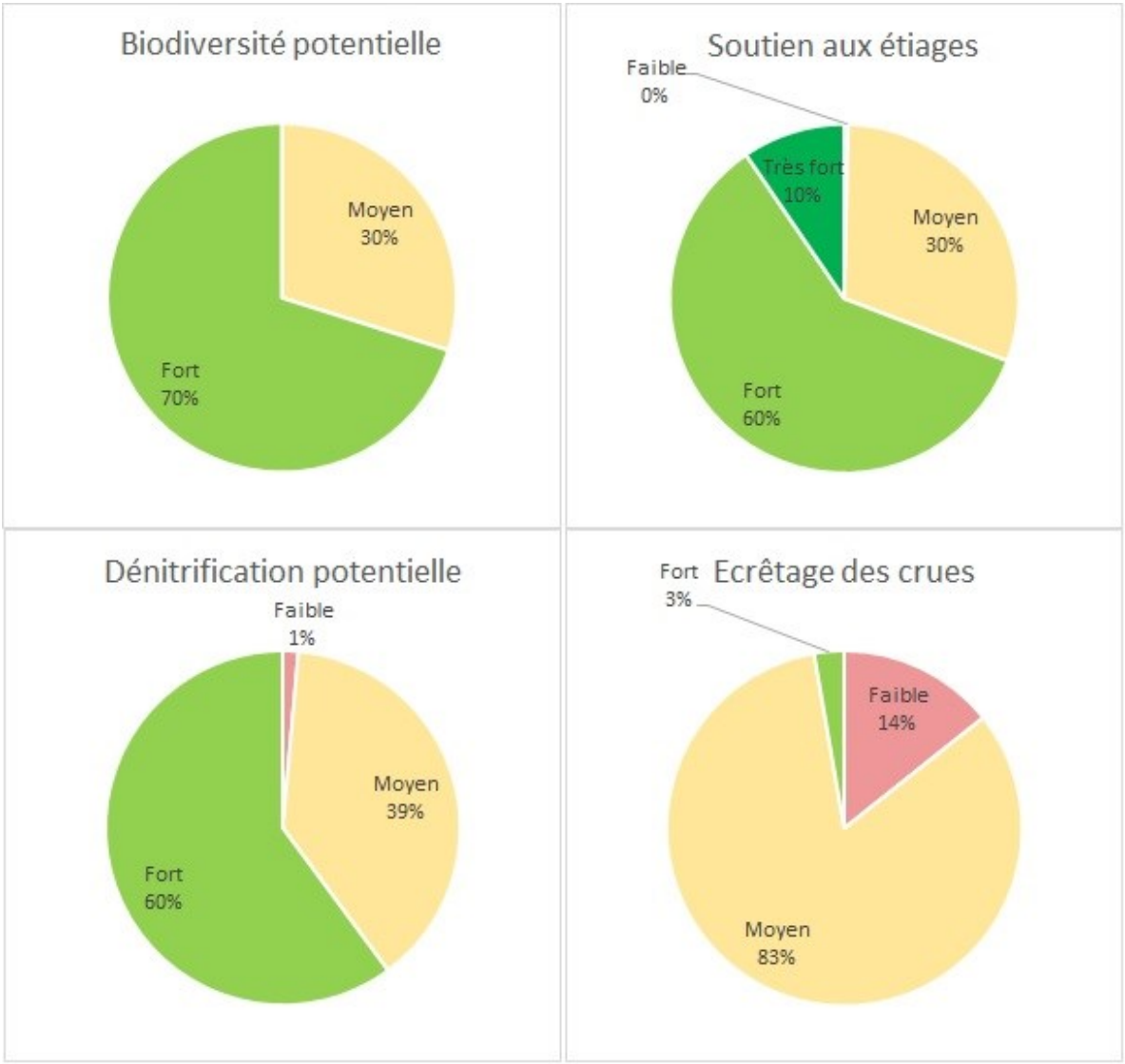



**Figure 97 : Processus fonctionnel dans la zone du lac Evaro**

### 8.3.7. La zone de conservation du lac Ogouémoué

La zone du lac Oguémoué s'étend sur 8849 ha, dans la partie sud, du lac du même nom. Elle englobe une grande partie des forêts marécageuses qui alimentent cette partie du lac. Elle regroupe les villages Odimba, Dakar St. Louis et Saint Louis (figure 98, ci-après).

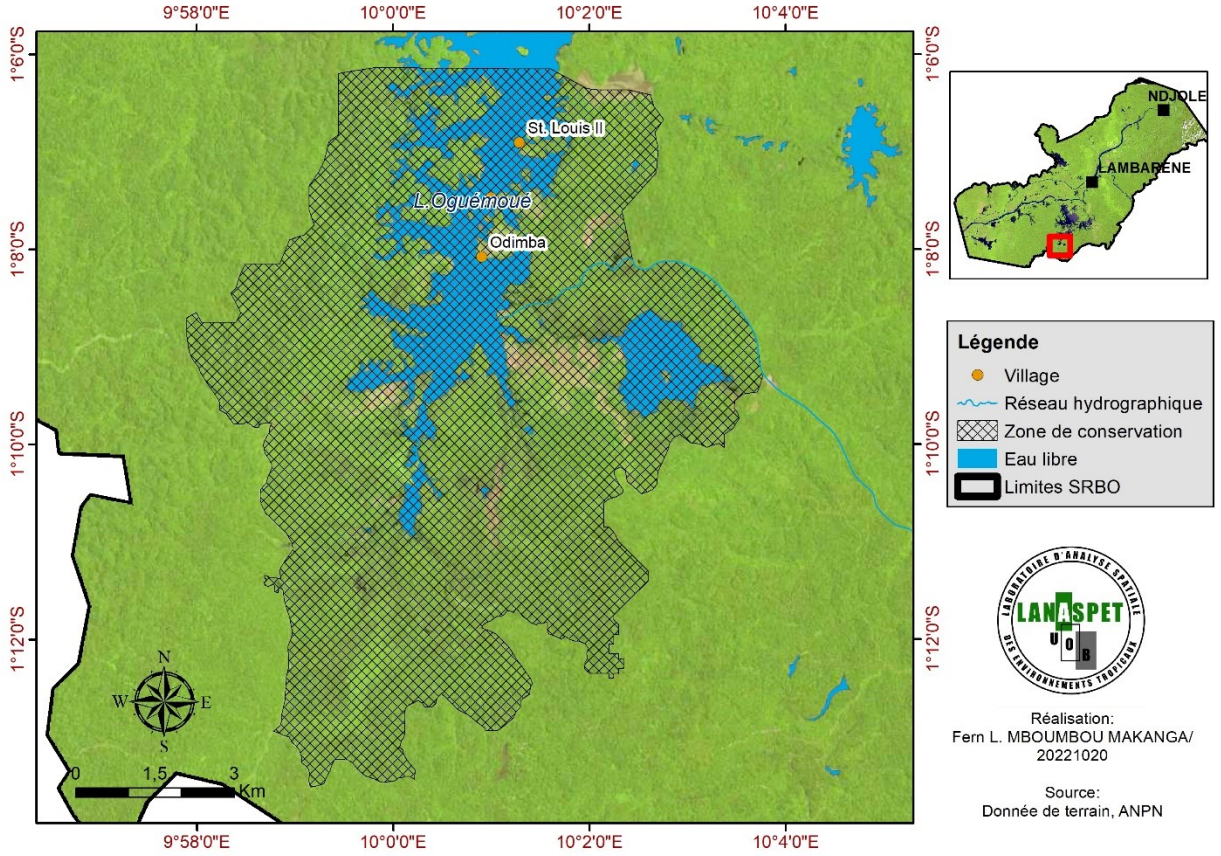



**Figure 98 : Zone du lac Oguémoué**

Pour l'essentiel, si la zone présente encore un grand nombre de secteurs intacts, l'existence de pistes forestières et de nombreux sols nus, repartis à travers son étendue, peuvent témoigner d'un site enclin à la dégradation par des pratiques anthropiques peu durables.

En effet, la carte de l'occupation du sol montre des trouées dans les forêts humides et marécageuses, au sud et à l'est de la zone. L'écosystème dominant est donc celui de la forêt de terre ferme, suivi de la forêt marécageuse autour du lac Oguémoué. Le sable est présent, notamment dans les secteurs savanicoles et des marais principalement situés le long des rives du lac Oguemoué (figure 99, ci-après).

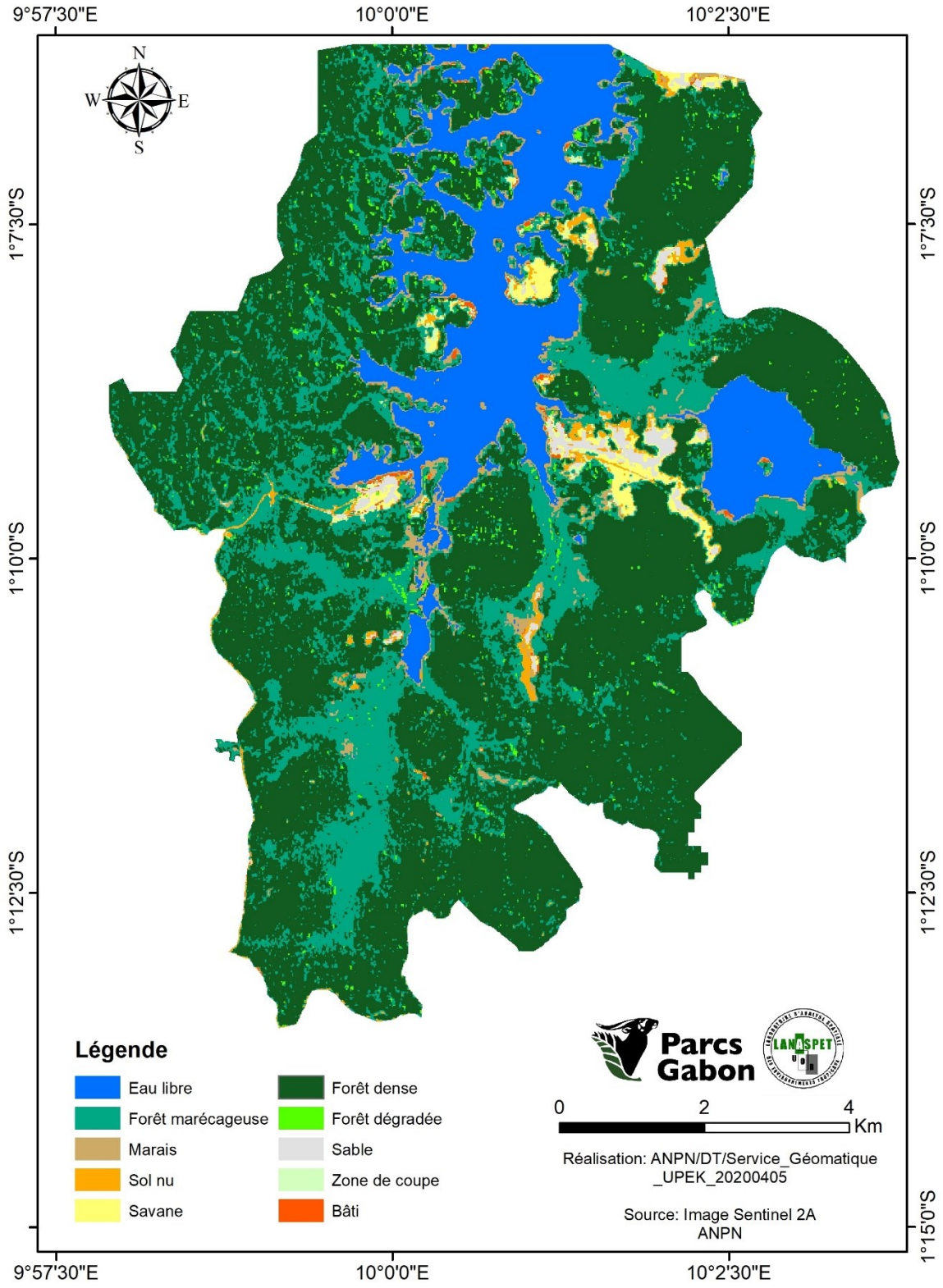



**Figure 99 : Occupation du sol dans la zone du lac Oguémoué**

Dans cette zone les élévations varient entre 10 m et 134 m, avec une altitude moyenne de 50 mètres. Les deux lacs, ainsi que leurs principaux tributaires, occupent la plaine centrale. Ensuite les strates se superposent, avec les formations de forêt

marécageuses, puis les forêts denses, et comme un amphithéâtre ouvert vert le nord de la zone (figure 100, ci-après).

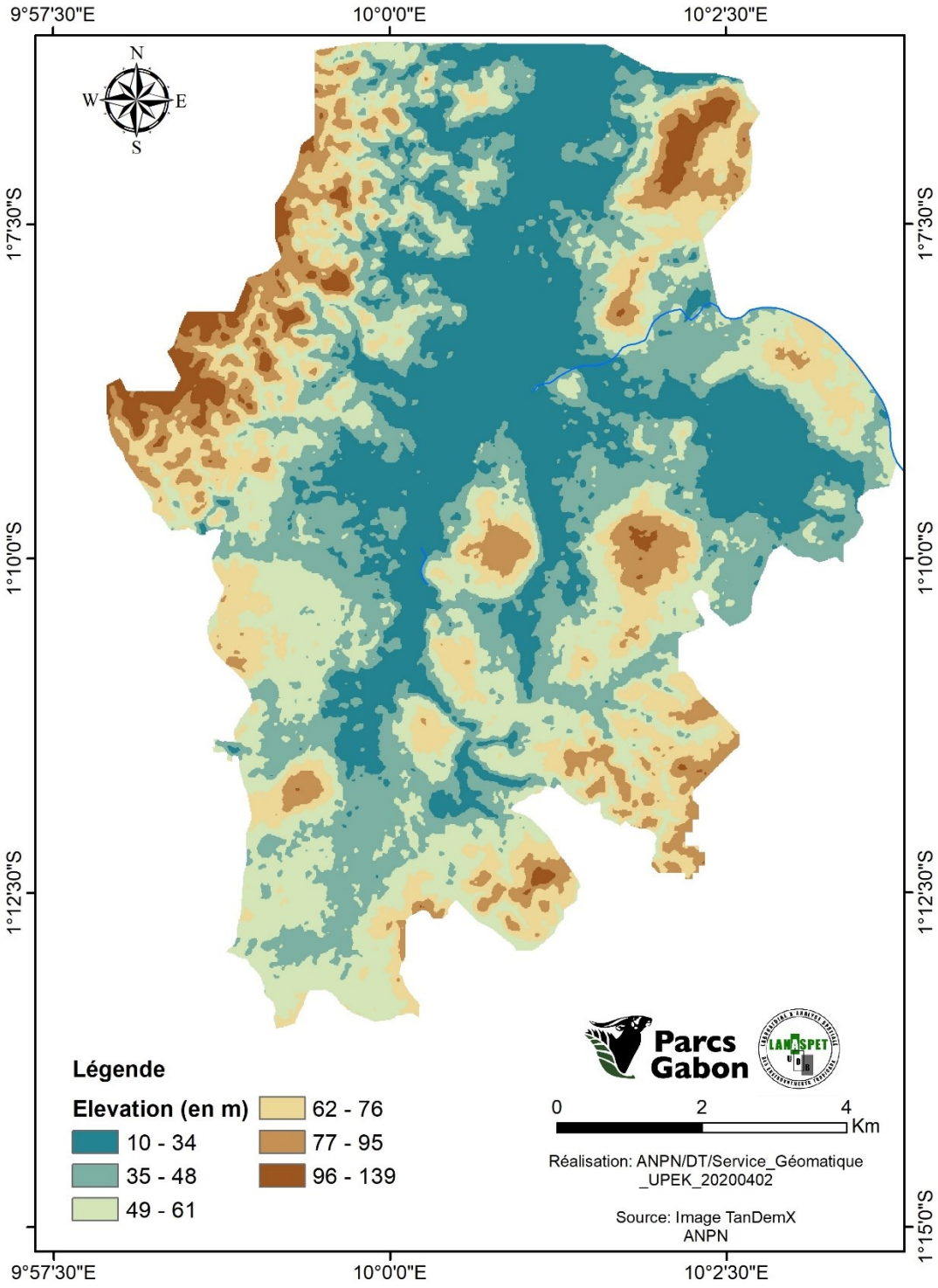



**Figure 100 : Topographie de la zone du lac Oguémoué**

Les fonctions « biodiversité potentielle » et « dénitrification potentielle » présentent une intensité à majorité forte, ce qui sous entendrait qu'il y'a de grandes présences animale

et aussi floristique dans la zone. Selon la récolte de données du WWF, il a été aperçu un nombre important de buffles, ainsi que des potamochères dans le sud de la zone.

Ce milieu est aussi un site favorable à l'habitat des espèces intégralement protégée comme le lameantin, des espèces menacées et endémiques telles que la tortue (*Kinixys erosa*), près du village de Saint Louis, et la grenouille des flaques variables. Selon Vande Weghe et Stevart (2017), certains éléphants viennent quand même de nuit autour des villages en bordure du lac Oguémoué.

Le soutien aux étiages est assez fort dans la zone, tandis que l'écrêtage des crues y est dans l'ensemble moyen (figure 101, ci-après).

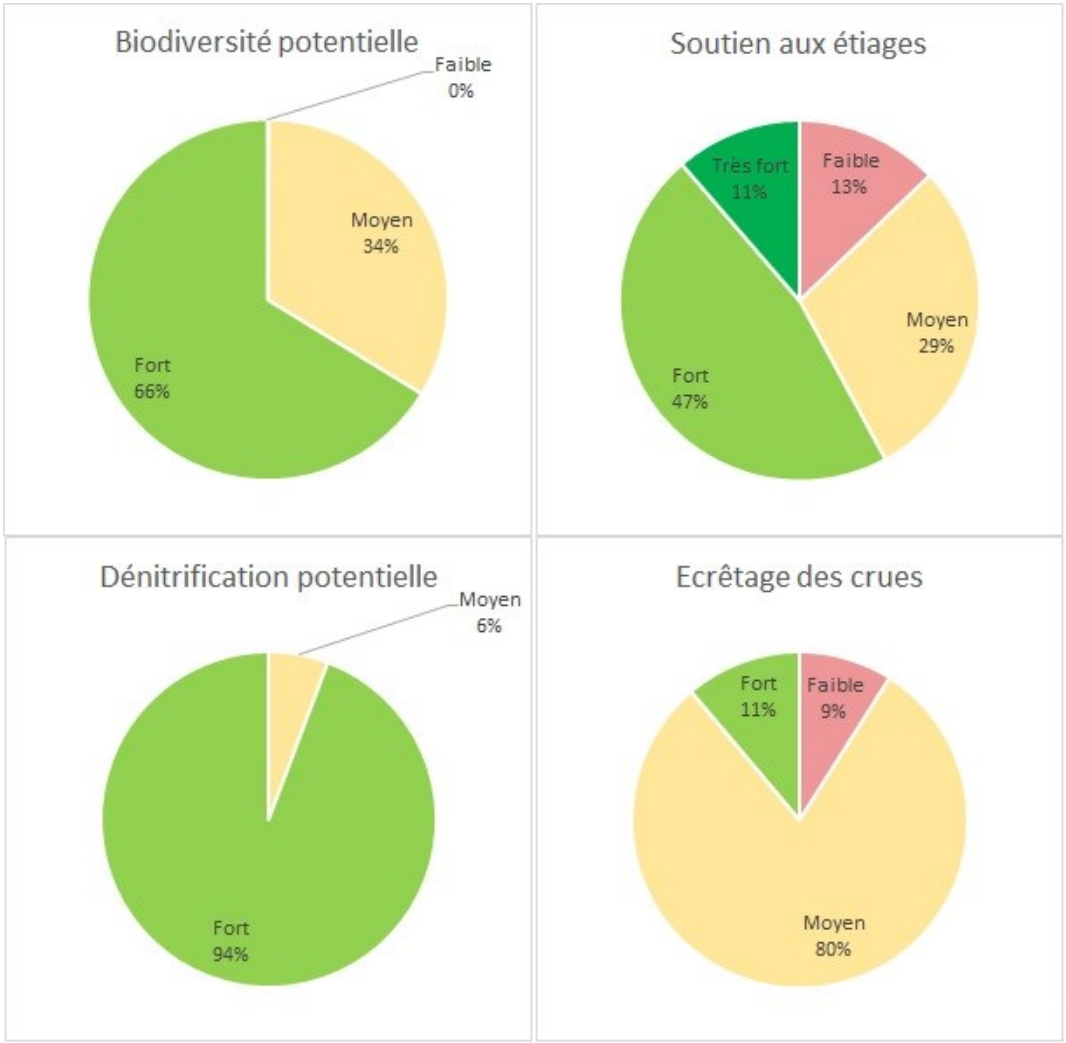



**Figure 101 : Processus fonctionnel dans la zone du lac Oguémoué**

### 8.3.8. La zone de conservation du Rembo Ouango

La zone de la rivière ou Rembo Ouango se situe dans la plaine alluviale délimitée au nord par les rivières ou Rembo Azingo et Oronga, et au sud par le Rembo Ouango. Elle est directement frontalière à la Réserve Présidentielle de Wonga Wongué. Avec une superficie de 25447 ha. Bien qu'on dénombre une multitude de villages mitoyens, la zone de conservation du Rembo Oango ne compte qu'un seul village en son sein, le village Obiro (figure 102, ci-après).

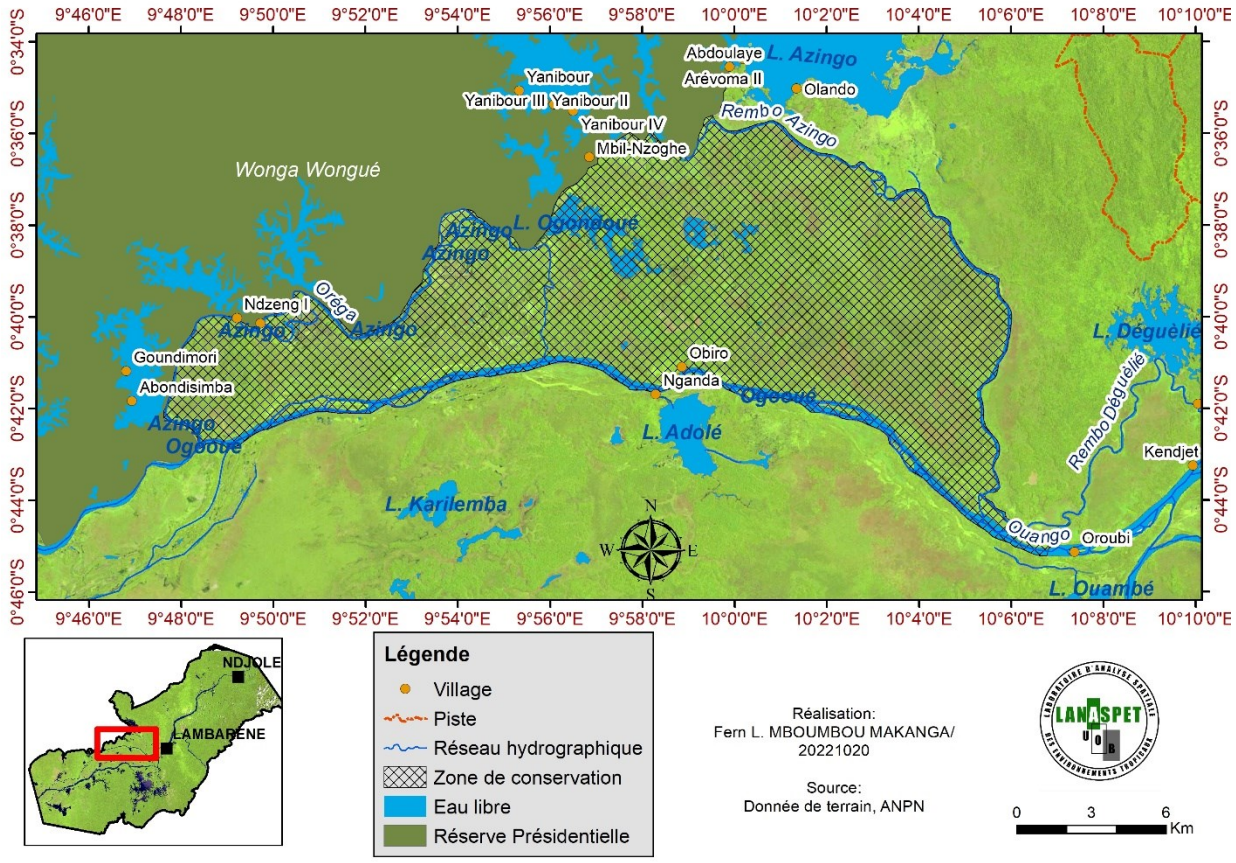



**Figure 102 : Zone de Rembo Ouango**

La zone de la rivière Ouango est pour l'essentiel composée de forêt marécageuse, et entrecoupée par des marécages et des zones de forêt de terre ferme. Entre marécages et forêt de terre ferme, il y a également des plans d'eau avec des ilots majoritairement de forêt (figure 103, ci-après).

De l'amont à l'aval des rivières, le relief semble s'incliner légèrement vers le sud, en laissant apparaitre deux compartiments de plaines séparés par un amas de petites collines

forestières. Sur l'ensemble de la zone, les élévations varient entre 1 m et 123 m (figure 104, ci-après).

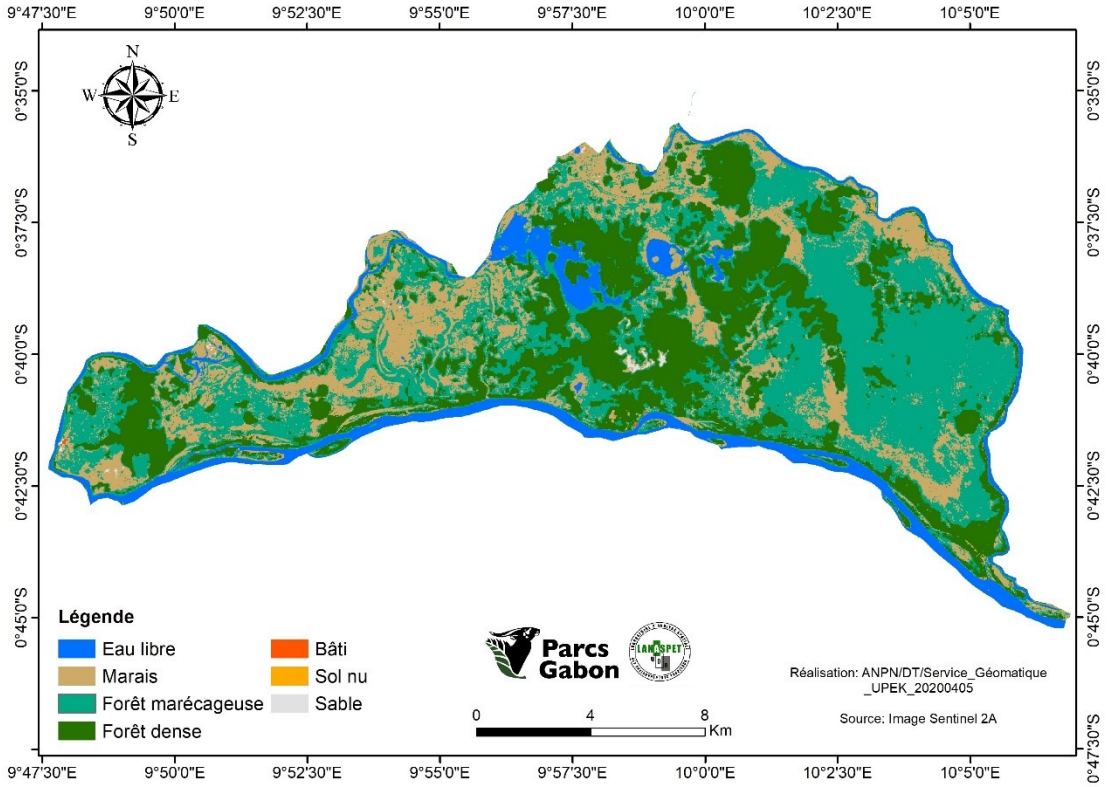



**Figure 103 : Occupation du sol de la zone de Rembo Ouango**

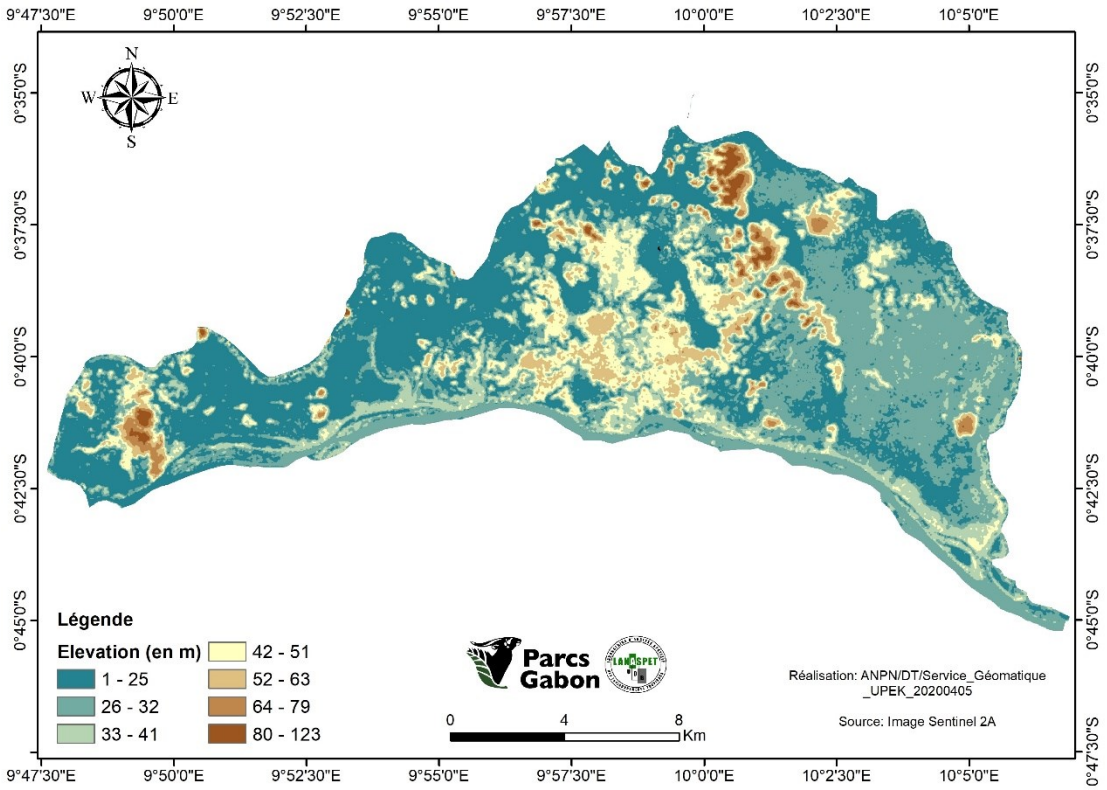



**Figure 104 : Topographie de la zone de Rembo Ouango**

Les fonctions « soutien aux étiages » et « écrêtage de crues » sont moyennement assurées dans la zone (figure 105, ci-après). Les intensités des fonctions « habitat » et « dénitrification » sont dans l'ensemble assez forte et augure de la présence d'une riche biodiversité.

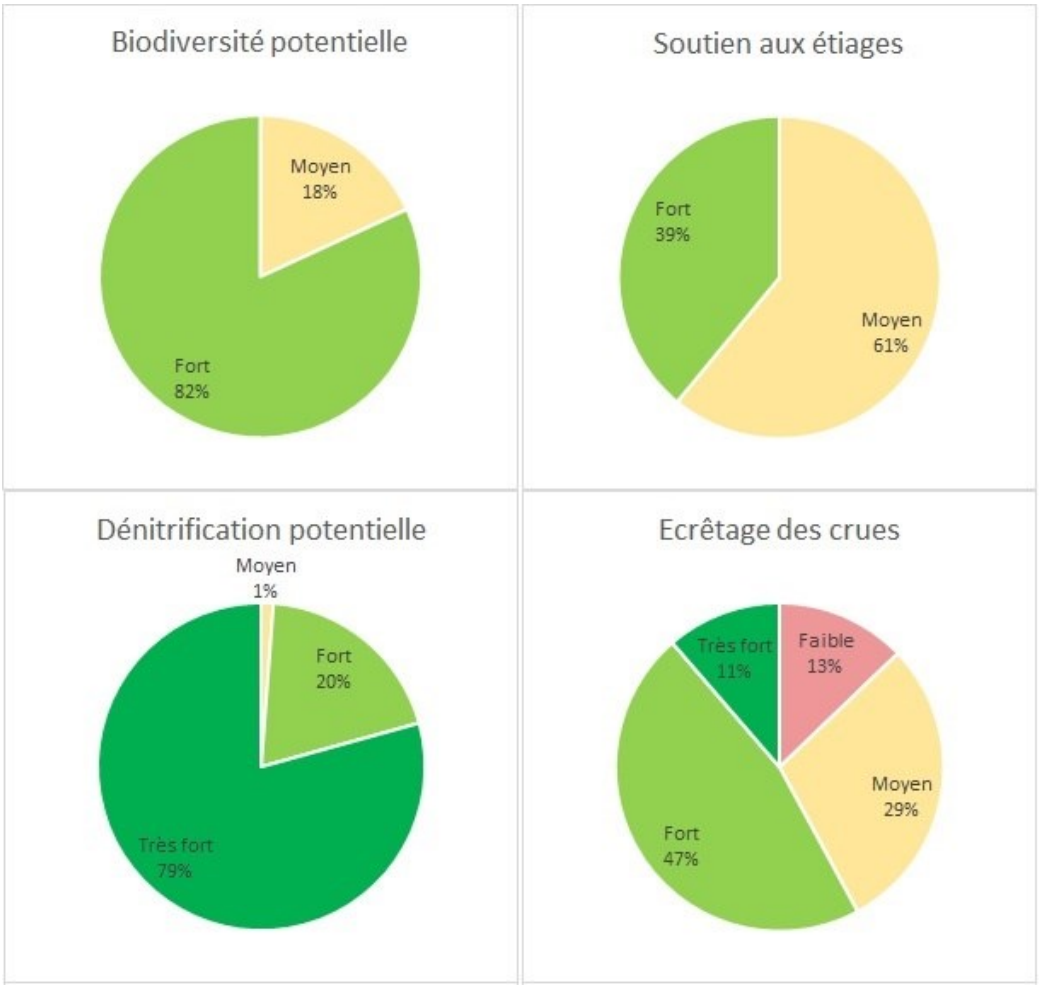



**Figure 105 : Processus fonctionnel dans le site d'Ouango**

Cependant, l'accès difficile n'a été pas favorable à des études ou observations poussées dans la zone, si ce n'est que les relevés des points d'oiseaux sur les rives de la rivière Ouango. Néanmoins, comme mentionneré plus haut, ce compartiment jouxte la Réserve Présidentielle de Wonga Wongué qui dispose d'une population importante de buffles (S*incer caffer nanus*) et d'éléphants de forêt (*Loxodonta cyclotis).* Vande Weghe et Stevart (2017) mentionnent des traces d'éléphants, vues lors d'un survol en avion au-dessus du marais Nkengué. Ces traces étaient nettement orientées dans le sens d'un passage d'éléphants, à travers les marais du Bas Ogooué, de Wonga-Wongué vers les forêts

situées au sud du fleuve ou vice-versa. La zone de la rivière Ouango constitue donc un couloir pour la grande faune.

### 8.3.9. La zone de conservation du lac Alombiè

La zone de conservation du lac Alombié entoure la vaste étendue de terrain marécageux au nord du lac portant le même nom. Le site en lui-même s'étend sur une superficie de 7124 ha. Elle a pour limite sud la rivière Oréga, à environ 15 km du lieu où elle se déverse dans l'Ogooué, le reste des limites est tracé à partir des petites rivières sous couvert forestier et de la limite des bassins versants (figure 106, ci-après). La zone ne compte aucun village et est distant de 2 km du village Mpaga, unique localité répertoriée sur les rives du lac Alombié. Néanmoins, dans sa partie nord-ouest, on observe des pistes et des sols nus présents dans un secteur de savane.

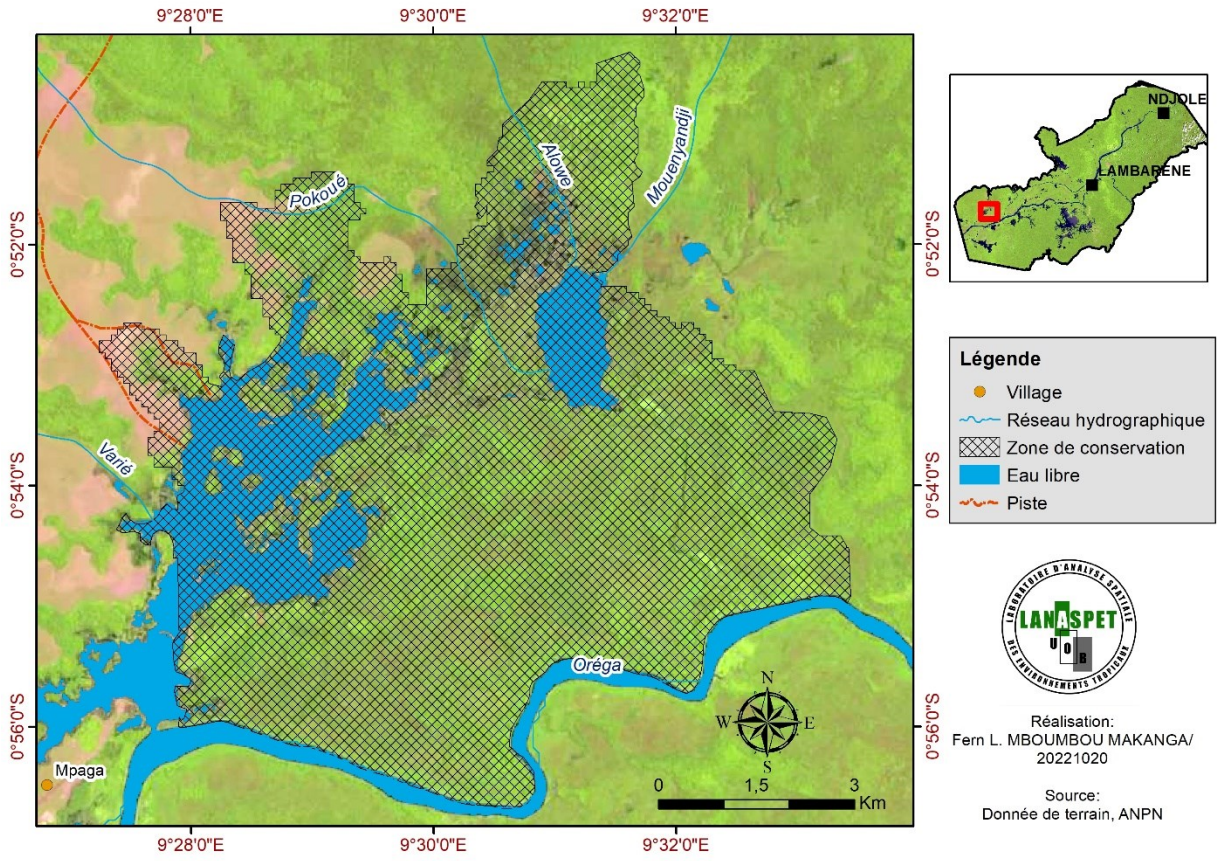



**Figure 106 : Zone du lac Alombiè**

L'habitat dominant est donc la forêt marécageuse (figure 107, ci-après), qu'entourent des zones marécageuses et des ilots de forêt dense. Au nord de la zone, sont présents plusieurs plans d'eau et des marais annexes au lac Alombié.

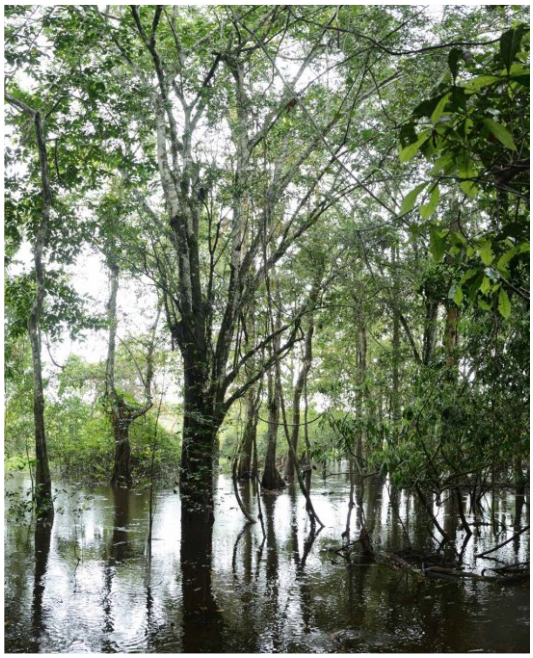


**Photo 6: Forêt marécageuse dans la zone du lac Alombié**

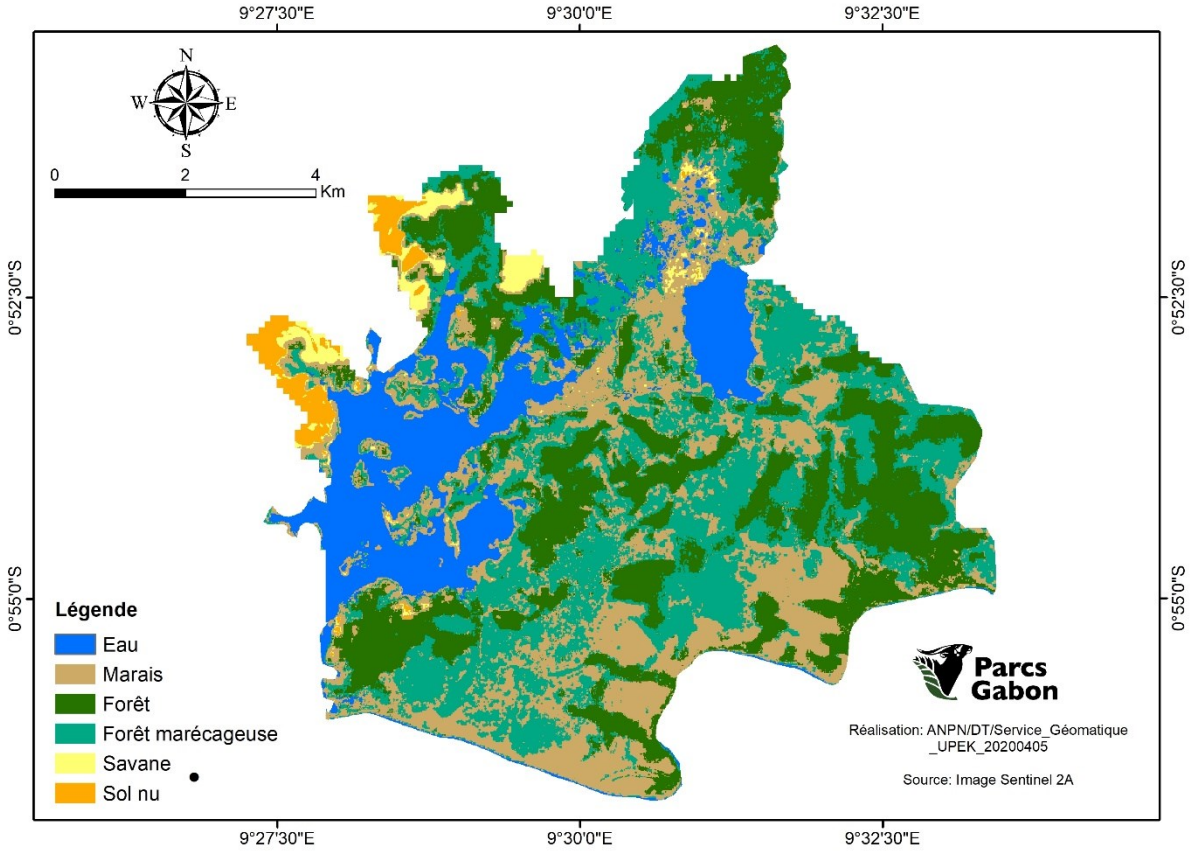



**Figure 107 : Occupation du sol de la zone du lac Alombié**

Les terrains du site s'élèvent entre 3 m et 100 m. Les secteurs les plus bas sont orientées vers les berges de la rivière Oréga, tandis que d'autres sont occupés par les plans

d'eau, notamment le lac Alombié. En revanche, les secteurs les plus hauts occupent le centre de la zone ainsi que les extrémités nord, nord-ouest et est (figure 108, ci-après).

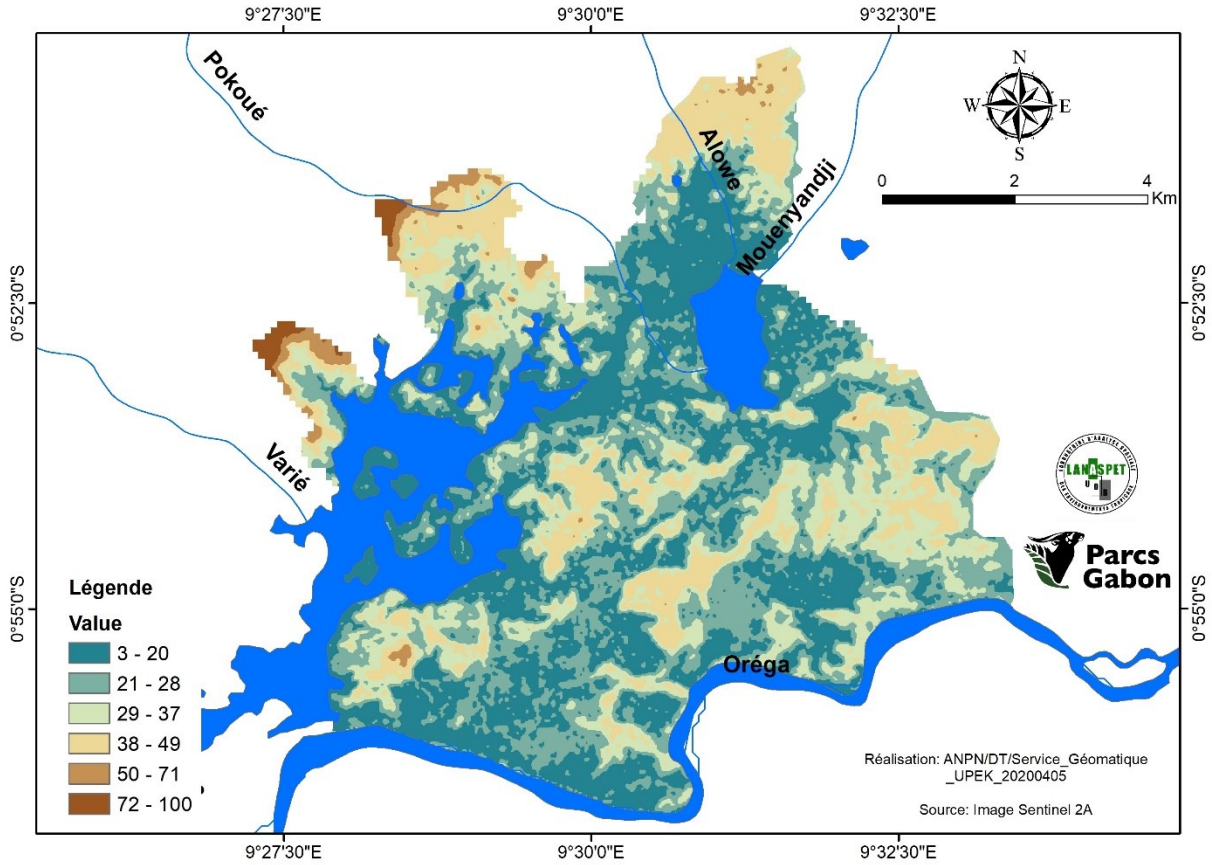



**Figure 108 : Topographie de la zone du lac Alombié**

L'ensemble des indicateurs hydrologiques, biogéochimiques et écologiques sont pour l'ensemble au vert, ce qui indique un bon fonctionnement global du milieu ; aussi bien pour le maintien de la vie, la régulation et les services écosystémiques.

Les alentours du lac Alombié possèdent des forêts rares, à l'échelle du Gabon. Elles représentent une variante floristique différente, et sont caractérisées par un sol restant marécageux en permanence, avec en plus une inondation lors des crues. Ces forêts sont majoritairement à *Ctenolophon* et abritent de nombreuses espèces rares ou menacées, telles que *Pauridiantha gracilipes* sp. nov. Outre ces dernières la zone abrite également des espèces remarquables, telles que le *Plectranthus* sp., à la lisière forêt-savane.

Des buffles ont également été aperçus dans les zones marécageuses de la zone. Précisons que la zone est distante de ???' kilomètres de la réserve présidentielle, et appartient à la grande plaine centrale du delta supérieur de l'Ogooué. Elle constitue de fait

un couloir de passage entre la région située au nord (la réserve de Wonga-Wongué) et celle au sud des marais du Bas Ogooué (figure 109, ci-après).

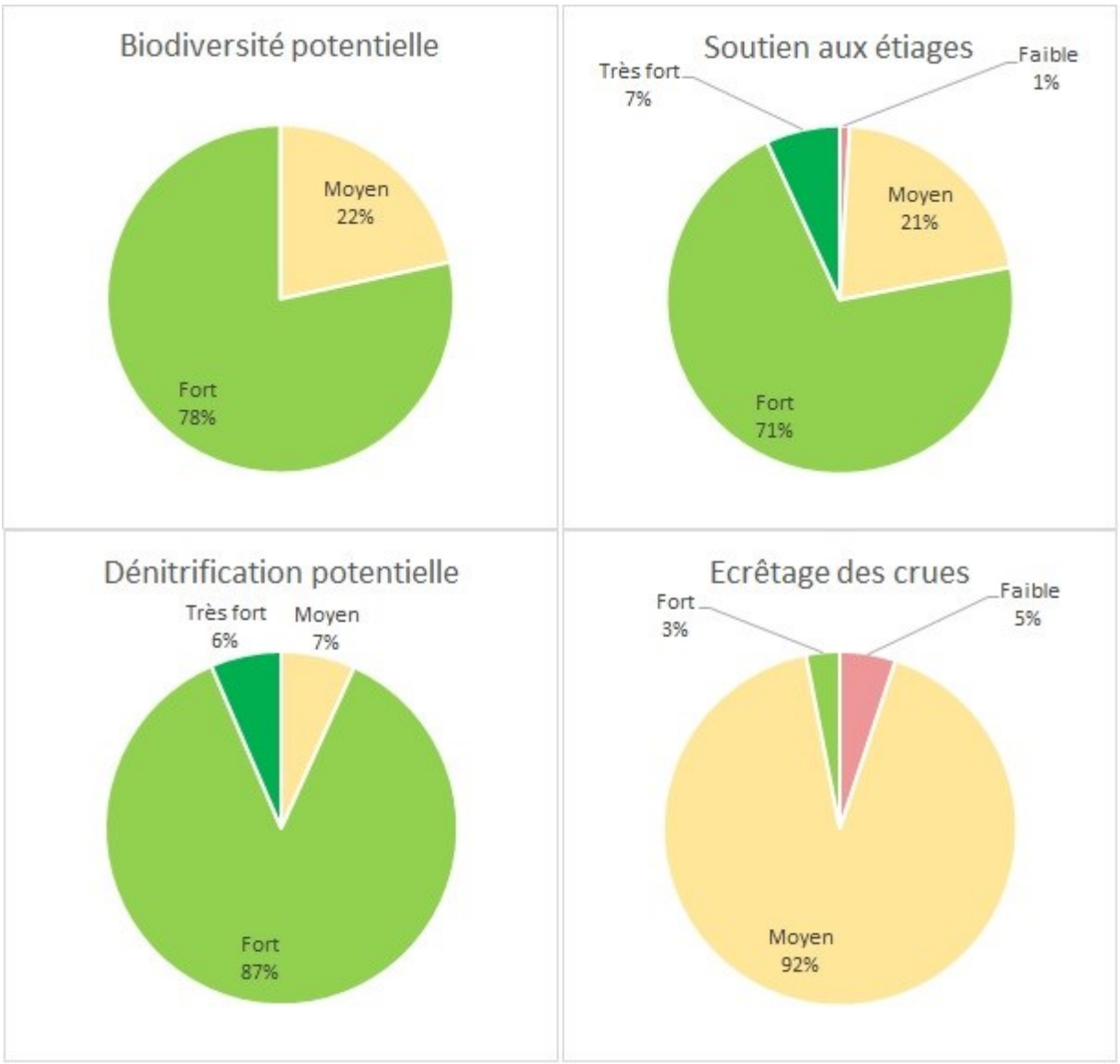



**Figure 109 : Processus fonctionnel dans la zone du lac Alombié**

### 8.3.10. La zone de conservation d'Obando

La zone d'Obando prend place dans la plaine centrale de l'Ogooué et est partagé entre le delta sud et le delta supérieur de l'Ogooué. Elle constitue donc l'interfluve à l'origine de la création de la rivière Obando créant un bras secondaire à l'Ogooué. La zone s'étend sur une superficie de 12 325 ha. Elle est proche de l'exutoire du lac Anengué et

constitue une zone encore intacte. Les deux villages les plus proches se rencontrent de part et d'autre, sur les rives de l'Ogooué et de l'Obando (figure 110, ci-après).

C'est une zone de conservation unique parce que l'on propose de la prolongé en dehors des limites du site Ramsar pour que la protection de l'ilot soit intégrale. Cet aspect vient peut-être remettre sur la table le débat des limites du site Ramsar Bas Ogooué qui n'englobe qu'une partie du delta de l'Ogooué plutôt que la totalité ou la majorité, en prenant en compte surtout les parties terminales et les zones côtières.

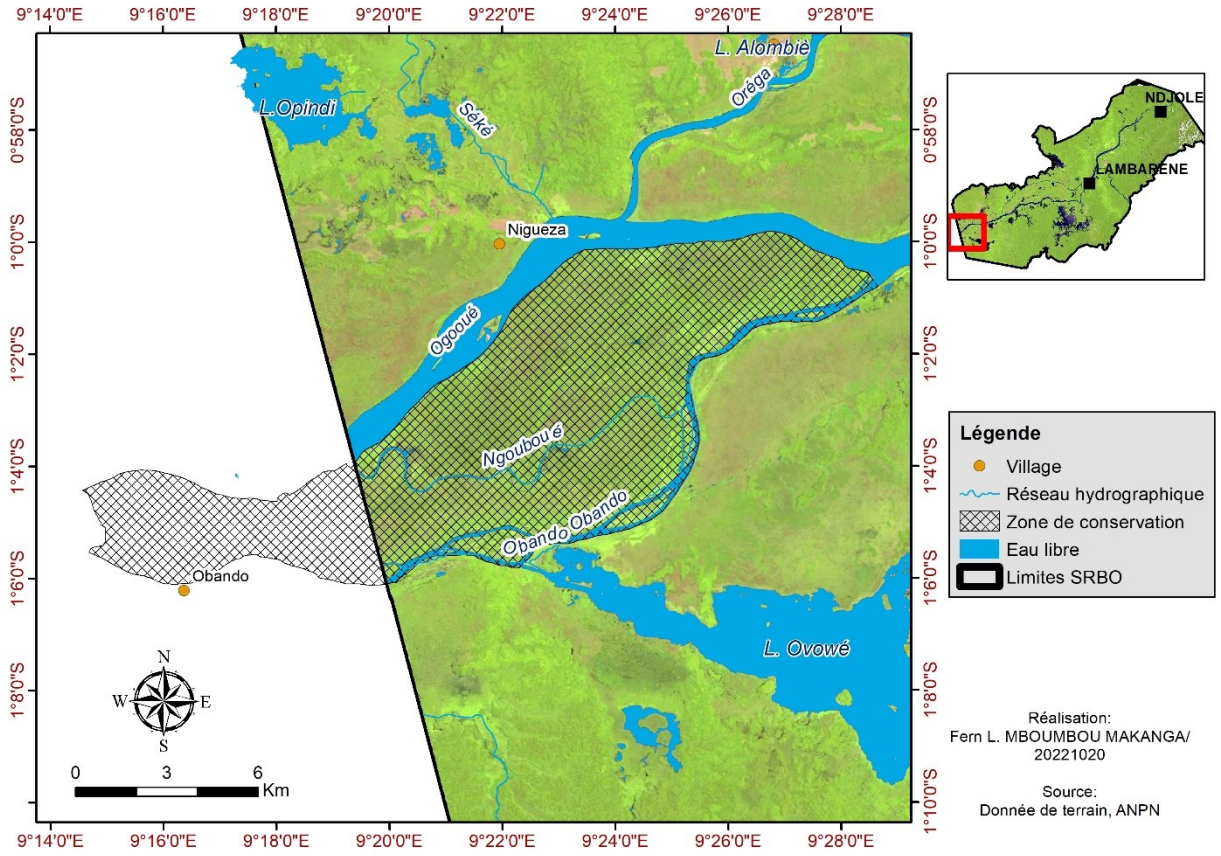



**Figure 110 : Zone d'Obando**

Dans la zone, les secteurs de forêt marécageuses dominent au nord, tandis que les marais dominent dans le sud (figure 111, ci-après). Par ailleurs, ce dernier est traversé par des petits chenaux et des haies de forêt de terre ferme.

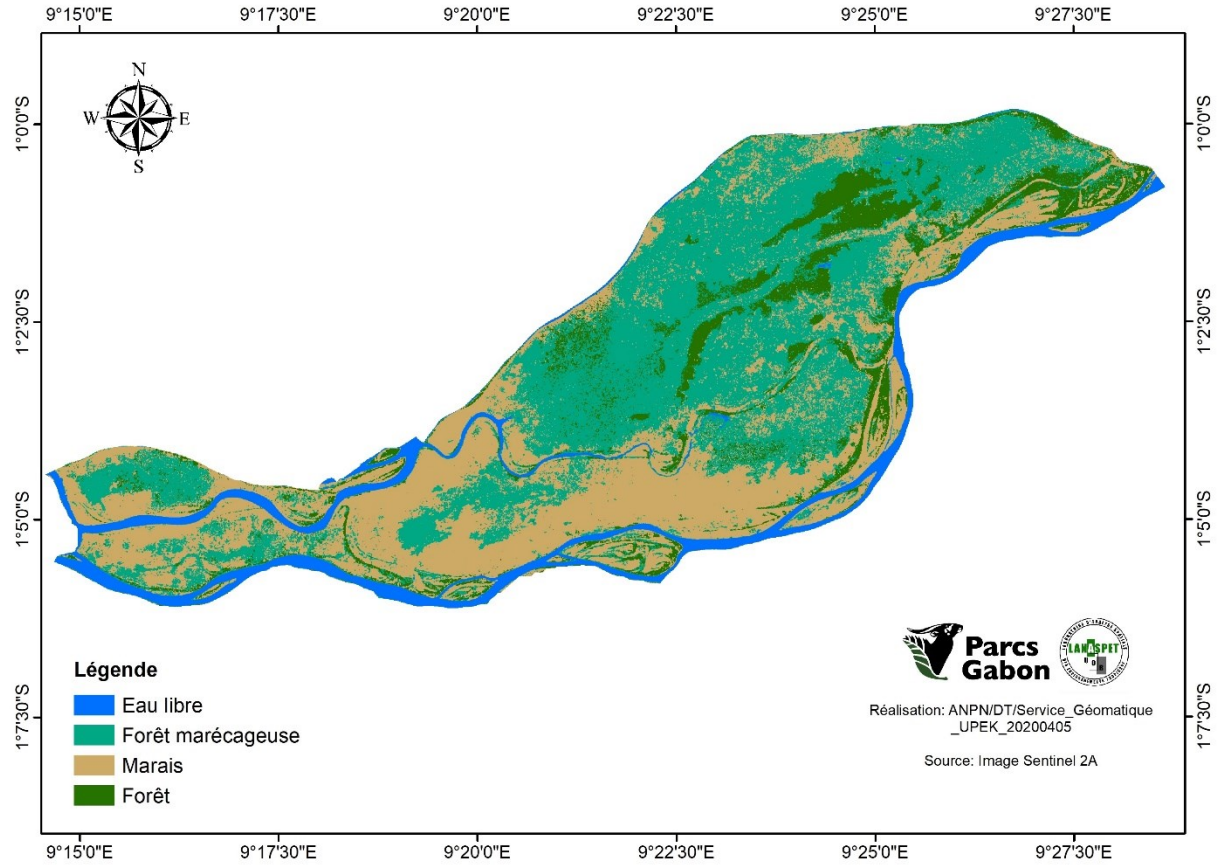



**Figure 111 : Occupation du sol de la zone d'Obando**

**Photo 7: Marais au sud de la zone d'Obando**

Les terrains s'élèvent peu dans le site, majoritairement dans les zones de forêt marécageuse et de forêt de terre ferme. Les valeurs d'élévation varient entre 8 et 49 mètres (figure 112, ci-après).

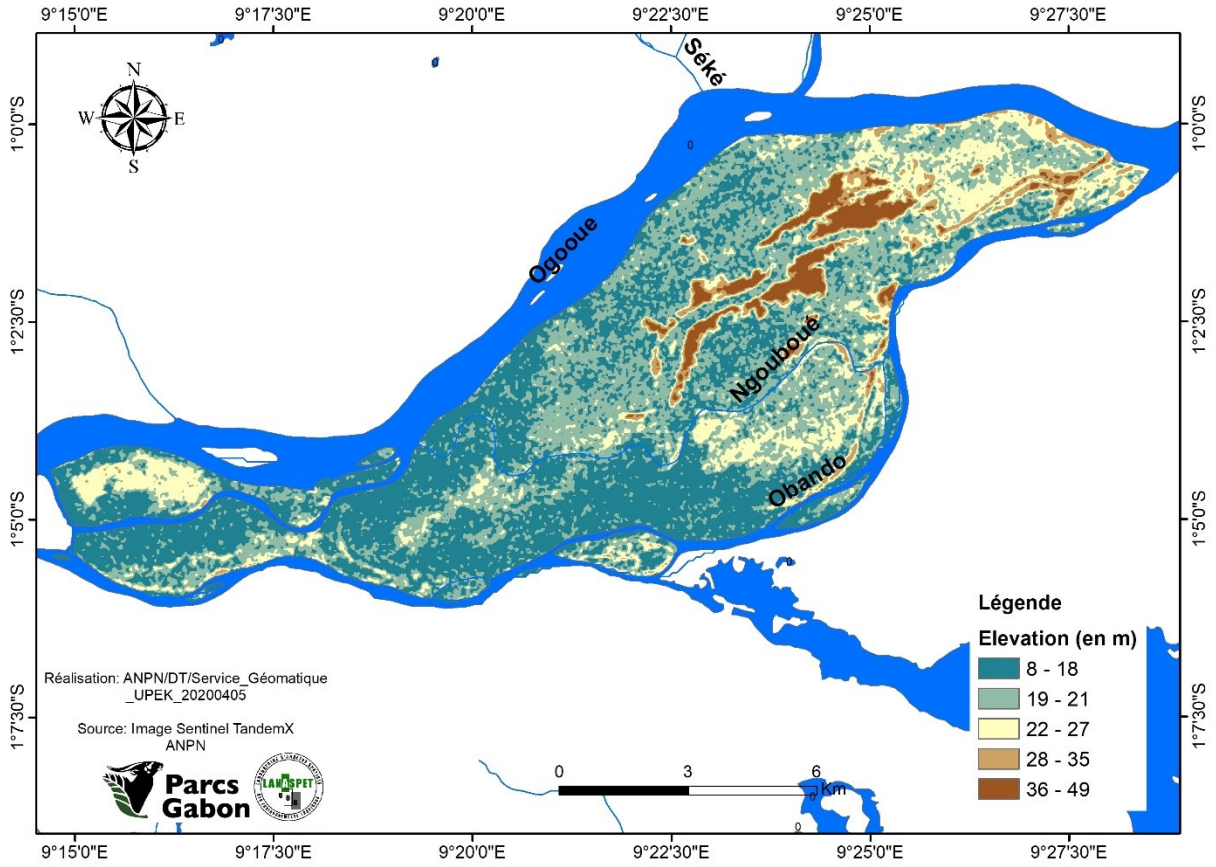



**Figure 112 : Topographie de la zone d'Obando**

L'intensité de la fonction « biodiversité potentielle » indique une faune probablement peu diversifiée en raison des habitats peu diversifiée. L'intensité de la fonction « dénitrification potentielle » est, *à contrario,* marqué par la présence des régions marécageuses. Cette zone constitue un espace de reproduction important, en même temps qu'elle constitue un couloir de migration.

Si l'intensité de la fonction écrêtage de crue est assez moyenne dans l'ensemble, la zone est importante pour soutenir l'étiage de la rivière Obando, principalement, durant la saison sèche (figure 113, ci-après).

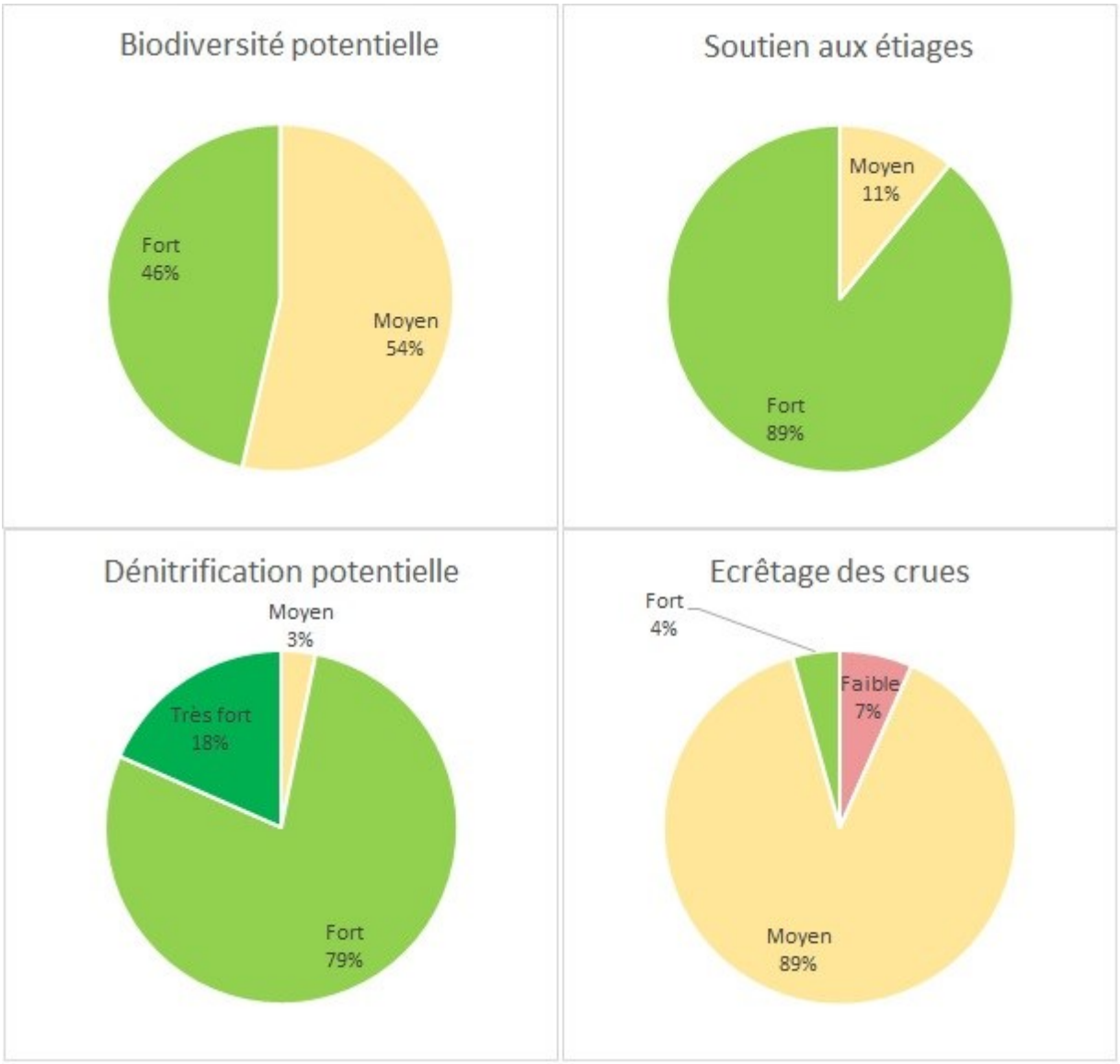



**Figure 113 : Processus fonctionnel dans la zone d'Obando**

*La superposition des services, fonctions et valeurs de la zone humide nous a permis de délimiter les zones de conservation ou zones centrales. Après standardisation linéaire de l'ensemble des descripteurs, l'analyse multicritère a permis de déterminer des zones à haute valeur écologique, à partir desquelles nous avons délimité les zones de conservation.*

*Evaluée sur cinq, nous avions considéré, comme zone de conservation les zones ayant obtenues les scores 4 et 5. Ces scores représentent, respectivement, les zones ayant des valeurs « fortes » à « très forte ». Au total, on en dénombre neuf, dont deux sont le résultat de notre validation sur le terrain et non pas de l'algorithme.*

*En effet, influencée par la présence du réseau routier à proximité et l'absence de données de faune, les zones de Mbiné et Azingo ont eu un score faible dans l'analyse globale. Or, en croisant les informations recueillies sur le terrain et les différentes fonctions, on se rend bien compte que ces zones ont de fortes amplitudes, en ce qui concerne les fonctions habitat et dénitrification potentielle.*

*Cet exemple illustre bien les limites du modèle qui est conditionné par la qualité et la quantité des intrants. Ainsi, les vérifications terrain restent importantes dans le domaine. Au final, les neuf zones représentent 8,44 % du site Ramsar, soit 115 103 ha. Dans ces zones un seul se trouve en milieu urbain, celui de Lambaréné ; les autres contiennent au moins un village et seuls Obando et Abanga n'ont aucun village. Cette étude a été diligentée pour planifier l'aménagement du site de Bas Ogooué, ces zones doivent faire l'objet d'étude à des échelles plus fines, parfois en incluant la cartographie participative, afin d'affiner les limites et les règles de gestion.*

# CHAPITRE 9 : ETUDE DES AFFECTATIONS ACTUELLES ET ADEQUATION DES TERRES DANS LE SITE RAMSAR DU BAS OGOOUE

*Bien que les zones humides côtières soient reconnues parmi les milieux les plus productifs de la planète, la valeur économique des activités qui y sont pratiquées et celle des services environnementaux qu'elles rendent ne sont pas prises en compte dans les calculs d'opportunité de ces aménagements.*

*Plus encore, leur mode de mise en valeur spécifique, caractérisé par des systèmes multi-usages et multi-utilisateurs, est mal compris, voire ignoré. Le plus souvent, les zones inondables sont considérées comme des terres vierges à aménager. Ces vastes surfaces aux faibles dénivelés ont été transformées en grands périmètres irrigués, à vocation rizicole jusque dans les années 1990 et, plus récemment, à vocation sucrière pour la production d'agro-carburants (Duvail S., Médard C. et Paul J.C., 2010).*

*Ces différentes transformations du milieu tendent à réduire ses services, à dégrader la zone humide, ses fonctions et, par ricochet, la vie qui est associée. Cet état de lieu justifie le fait que la convention de Ramsar insiste sur l'importance de l'action locale pour réduire ces phénomènes de disparition des zones humides. Elle recommande aux gestionnaires de procéder aux zonages pour une gestion durable des ressources.*

*L'objectif de ce chapitre_est, dans un premier temps, de faire une analyse poussée de chaque affectation agroindustrielle, avant de faire une analyse des différentes inadéquations ; sous-entendu que ces inadéquations seraient source de conflit pour la gestion. Enfin, est proposé un plan de zonage orienté vers la conciliation entre l'utilisation rationnelle des zones humides et autres écosystèmes, avec les usages industriels et paysans.*

## 9.1. Les affectations actuelles

### 9.1.1. Les permis forestiers

. Les permis forestiers occupent un peu plus de 60% du site Ramsar, soit une étendue de 8 197 km$^2$ (DGF, 2021). A cause des marais au centre du site, ceux-ci sont pour la majorité, naturellement situés à ses extrémités où l'on retrouve le plus les forêts de terre ferme. Sur l'ensemble des 207 concessions forestières identifiées sur le site, on dénombre 168 Concessions Forestières sous Aménagement Durable (CFAD), 23 concessions à

Convention Provisoire d'Aménagement, d'Exploitation et de Transformation (CPAET) et 16 réservations forestières (figure 114 , ci-après).

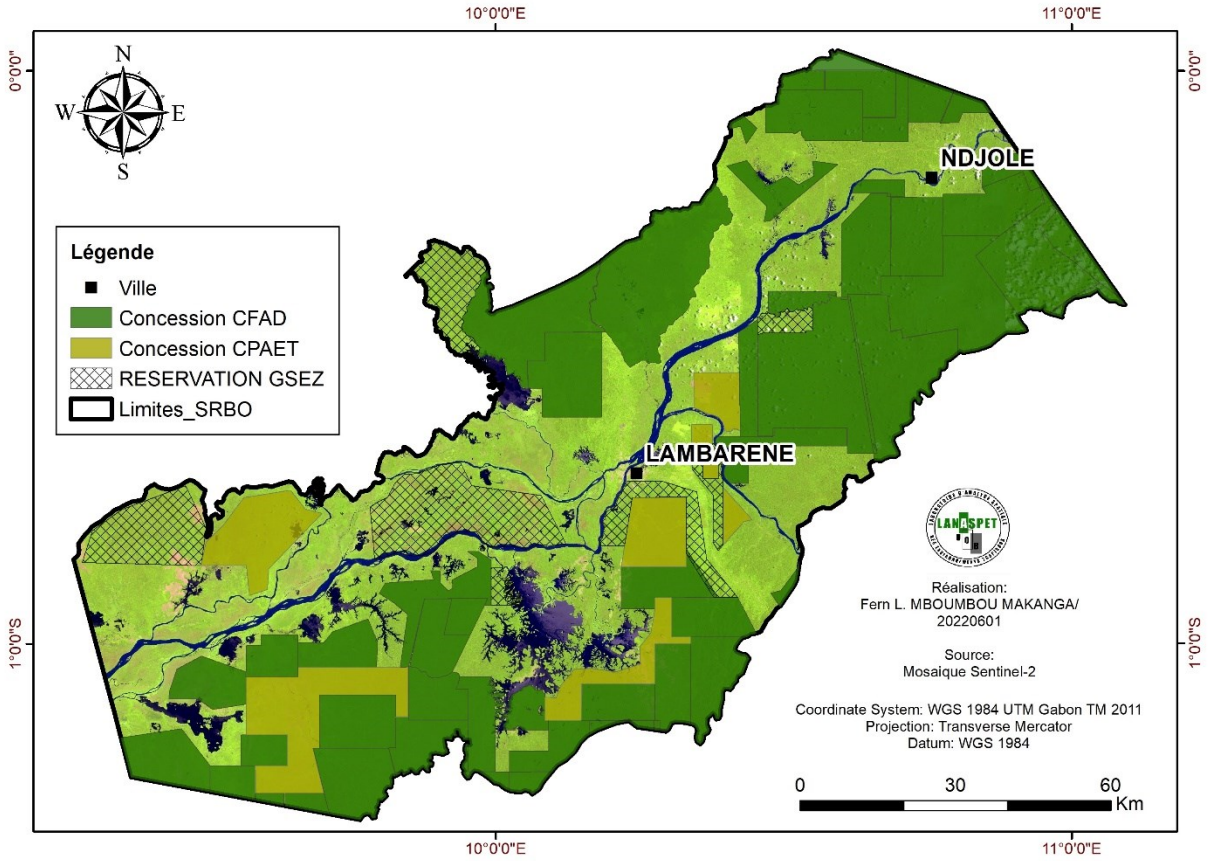



**Figure 114: Concessions forestières présentes dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

On note une superposition avec les zones de conservation prédéfinies au chapitre 8. En effet, huit zones de conservation se superposent à des concessions forestières sur une superficie totale de 306,47 km$^2$, soit près de 4% de l'ensemble du domaine d'exploitation forestière. L'analyse des données montre que l'ordre des superpositions est lié à la part des différentes concessions présentes dans le site. En effet les zones de conservation se superposent à tous les types de concessions, notamment sur 166 km$^2$ pour les CFAD, sur 126 km$^2$ pour les forêts réservées et seulement 13 km$^2$ pour les concessions en CPAET (DGF, 2021).

Dans le détail, il s'agit de huit CFAD, sept forêts réservées et trois concessions en CPAET. Le total ou l'ensemble donne des superpositions (tableau 30 et figure 115, ci-après) sur 18 concessions forestières dans les départements Ogooué et Lacs et Abanga

Bigné de la province du Moyen-Ogooué, et dans le département de Bendjé dans la province de l'Ogooué maritime.

**Tableau 30 : Superpositions observées entre concessions forestières et zones de conservation dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

| Id | Nom | Province | Département | Aire ($km^2$) | Type |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Azingo | Moyen-Ogooué | Ogooué et Lacs | 9,31 | CFAD |
| 2 | | Moyen-Ogooué | Ogooué et Lacs | 8,81 | RESERVATION[12] GSEZ |
| 3 | Ouango | Moyen-Ogooué | Ogooué et Lacs | 0,50 | RESERVATION GSEZ |
| 4 | Ngounié aval | Moyen-Ogooué | Ogooué et Lacs | 8,65 | CPAET |
| 5 | | Moyen-Ogooué | Ogooué et Lacs | 4,02 | CFAD |
| 6 | | Moyen-Ogooué | Ogooué et Lacs | 0,46 | RESERVATION GSEZ |
| 7 | | Moyen-Ogooué | Ogooué et Lacs | 0,01 | CPAET |
| 8 | | Moyen-Ogooué | Ogooué et Lacs | 0,01 | RESERVATION GSEZ |
| 9 | Ebel Abanga | Moyen-Ogooué | Abanga Bigné | 34,93 | CFAD |
| 10 | Evaro | Moyen-Ogooué | Ogooué et Lacs | 115,34 | RESERVATION GSEZ |
| 11 | | Moyen-Ogooué | Ogooué et Lacs | 0,55 | RESERVATION GSEZ |
| 12 | Oguémoué | Moyen-Ogooué | Ogooué et Lacs | 2,58 | CFAD |
| 13 | | Moyen-Ogooué | Ogooué et Lacs | 16,46 | CFAD |
| 14 | | Moyen-Ogooué | Ogooué et Lacs | 30,84 | CFAD |
| 15 | | Moyen-Ogooué | Ogooué et Lacs | 0,02 | CFAD |
| 16 | Alombié | Ogooué Maritime | Bendjé | 1,07 | RESERVATION GSEZ |
| 17 | | Ogooué Maritime | Bendjé | 4,80 | CPAET |
| 18 | Mbiné | Moyen-Ogooué | Ogooué et Lacs | 68,12 | CFAD |

Source : Direction Générale des Forêt, 2021

[12] Anciens permis forestiers retournés aux domaines et rservés par la Gabon Special Economic Zone (GSEZ)

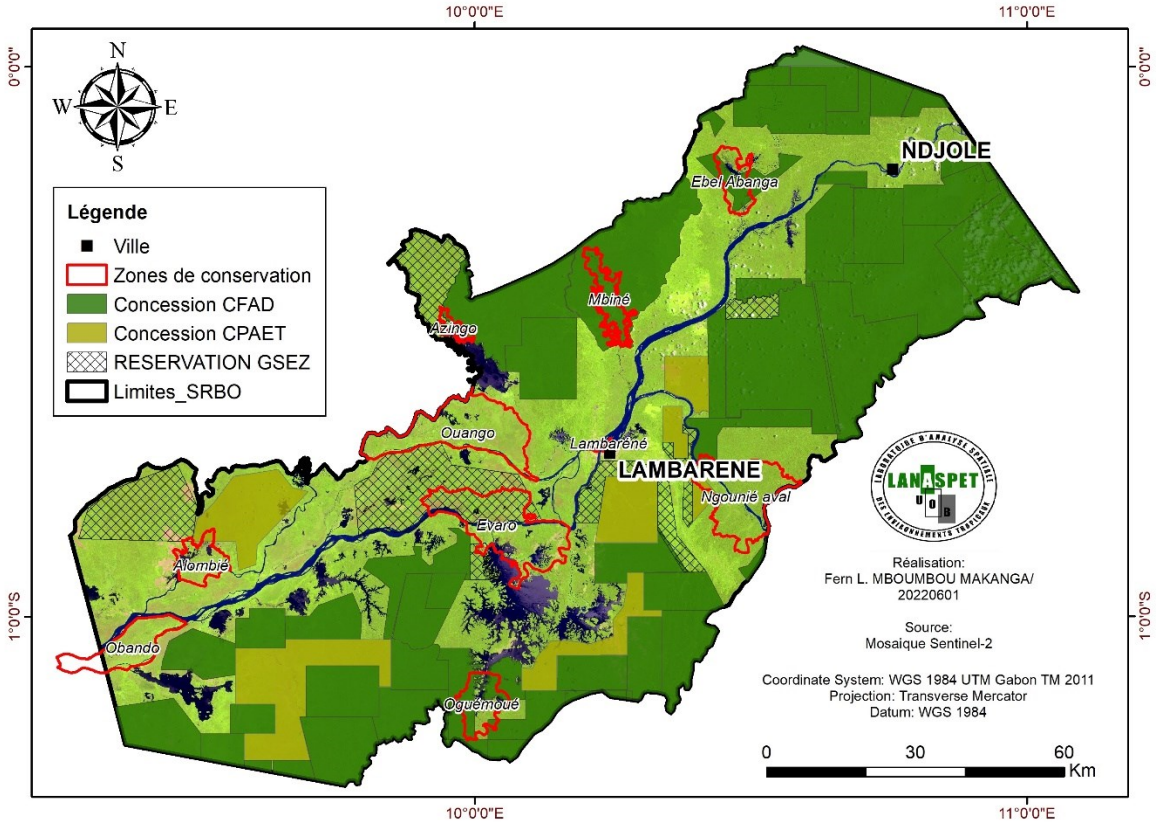



**Figure 115: Répartition des superpositions entre concessions forestières et zones de conservation** dans le site **Ramsar du Bas Ogooué**

Les zones Evaro, Mbiné, Oguémoué et Ebel Abanga, dans les départements de l'Ogooué et Lacs, sont celles ayant des aires de superposition supérieures à 30 km$^2$. De façon respective, les superpositions de ces dernières sont les suivantes : 116 km$^2$ à Evaro, 68 km$^2$ à Mbiné, 50 km$^2$ à Oguémoué et 35 km$^2$ à Ebel Abanga. *A contrario* de ces zones, celle de Ouango compte moins d'un km$^2$ de superposition (figure 116 , ci-après).

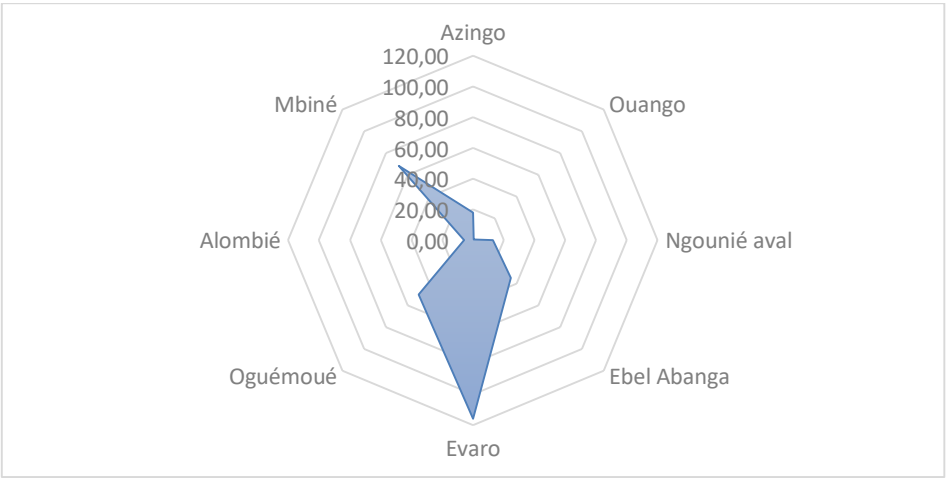



**Figure 116: Distribution des aires de superposition**

En théorie, les zones de conservation ne devraient pas poser de problèmes de superposition avec les concessions forestières, vu que les écosystèmes présents correspondent aux zones reconnues comme série de protection dans l'arrêté 5053/MEF/CAB du 19 juin 2007 définissant les directives nationales d'aménagement durable des concessions forestières.

De plus, si elles ne sont pas prises en compte dans le plan d'aménagement l'article 55 de la loi 16/2001 portant Code Forestier en République Gabonaise, stipule qu'en cas de contraintes écologiques dûment identifiées lors de l'inventaire d'aménagement, l'« administration des Eaux et Forêts peut contribuer à la réalisation d'inventaires ou d'études écologiques complémentaires visant à définir les zones présentant une forte richesse biologique, une haute valeur patrimoniale ou de forts risques environnementaux. »

### 9.1.2. Les permis miniers d'exploitation

L'ensemble des permis miniers d'exploitation sont concentrés au nord-est du site Ramsar du Bas Ogooué (figure 117, ci-après). Il s'agit de onze concessions de taille moyenne, dont les superficies varient de 23 à 50 km$^2$. L'ensemble des concessions minières s'étale sur une superficie totale de 467 km$^2$ (DGMG, 2021).

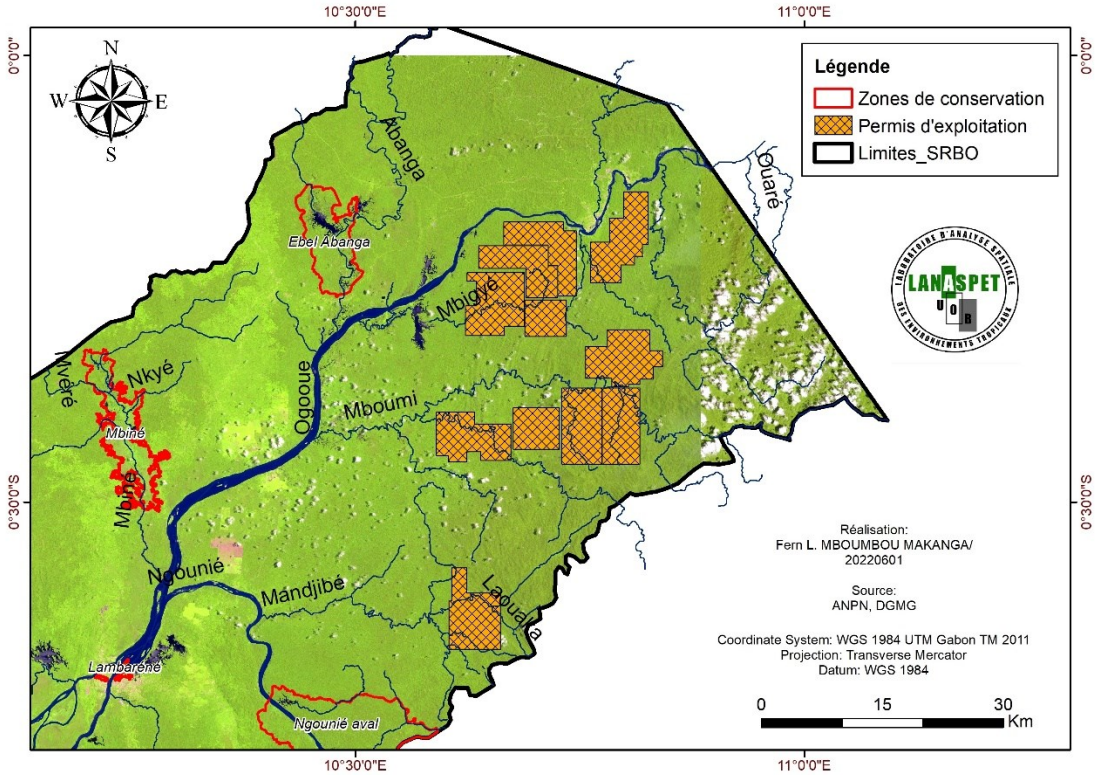



**Figure 117: Répartition des permis miniers dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

En l'occurrence, les concessions minières ne se superposent ni ne communiquent avec aucune zone de conservation. Néanmoins, un diagnostic plus poussé du site devrait prendre en compte la qualité des eaux des rivières et étendues lacustres. En effet la figure 117, ci-avant, montre que plusieurs rivières traversent les concessions minières. Les analyses de l'eau des rivières Mandjibé, Mboumi, Mbigyé et Bigné, en plus d'un simple diagnostic de la ressource, permettrait d'attester du respect des normes environnementales d'une exploitation minière responsable.

### 9.1.3. Les parcelles agro-industrielles

Les parcelles agro-industrielles sont au nombre de sept et sont généralement présentes au bord de grands cours d'eau, tels que l'Ogooué et la Ngounié. Elles sont comprises entre l'Abanga au nord et la Biwénié au sud. Ces concessions ne se superposent à aucune zone de conservation. Néanmoins, l'une des plantations agro-industrielles de la société OLAM jouxte la rivière alimentant le lac Nguéné, compris dans la zone de conservation d'Ebel Abanga (figure 118, ci-après).

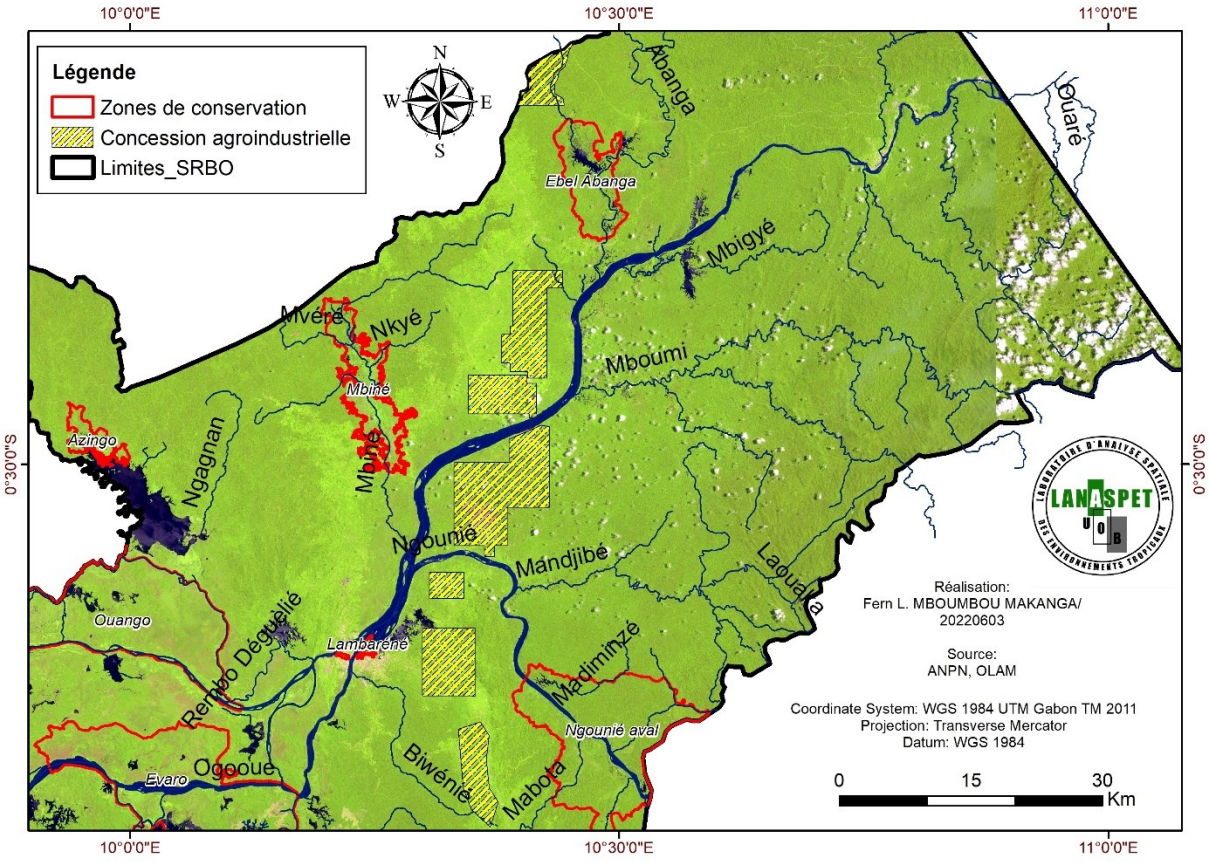



**Figure 118: Parcelles agro-industrielles dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

A cause de leur proximité de plusieurs réservoirs et cours d'eau, nous préconisons également des analyses de la qualité de l'eau des lacs Zilé et Nguéné, et aussi des rivières Biwénié, Ngounié et du fleuve Ogooué, dans les sections les plus proches des concessions agro-industrielles.

## 9.2. Inadéquation des affectations

### 9.2.1. Les superpositions

Précisons que la superficie sous SIG du site Ramsar du Bas Ogooué est de 13 634 km$^2$. L'ensemble des affectations à but industriel s'étend sur de 8479 km$^2$, soit 60% du site. Il englobe, dans le détail, les permis forestiers (8 164 km$^2$), les permis miniers d'exploitation (467 km$^2$), les concessions agro-industrielles (345 km$^2$) et le permis d'exploitation pétrolière (environ 88 km$^2$). La donnée « permis d'exploitation », en réalité « permis d'exploration pétrolière », tire sa source d'un polygone que nous avions créé autour de la zone d'exploitation de la société Maurel et Prom qui est le seul site d'exploitation dans le site Ramsar du Bas Ogooué.

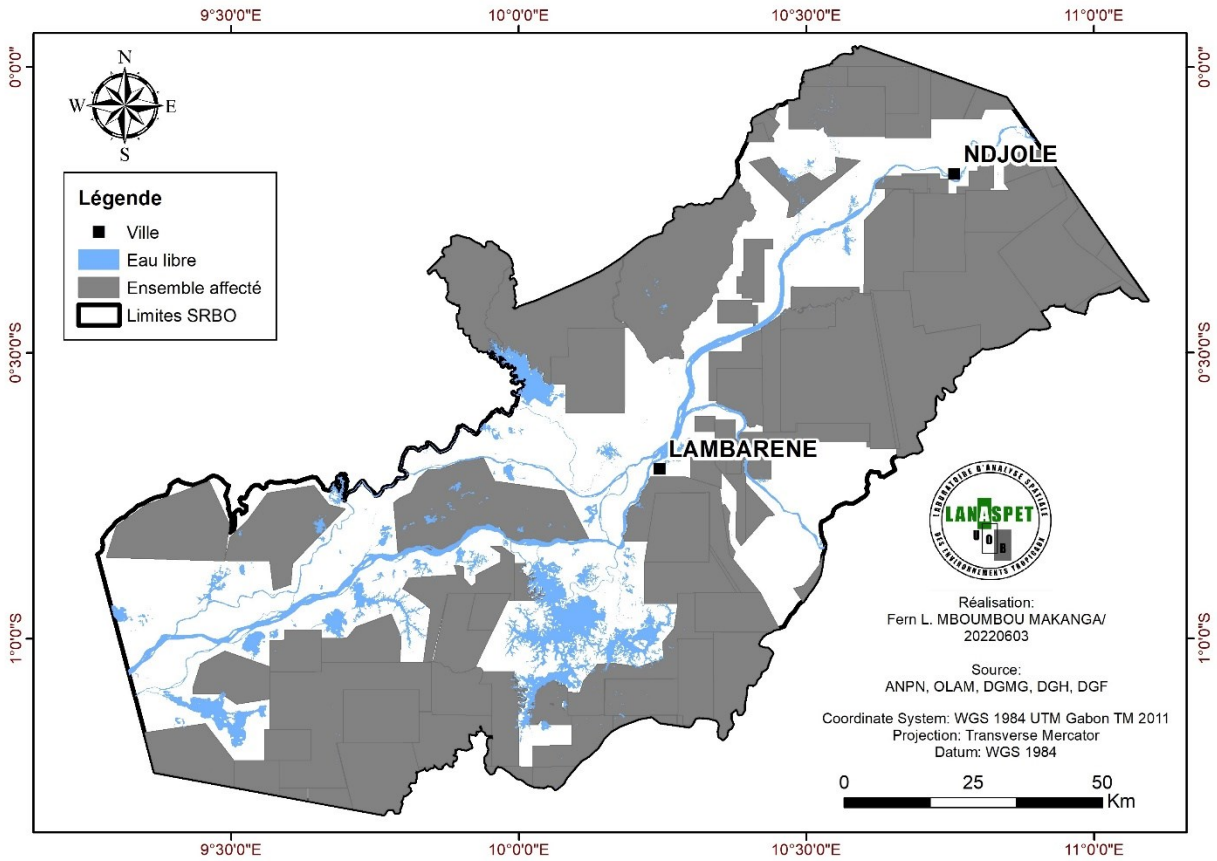



**Figure 119: Espaces affectés dans le Site Ramsar du Bas Ogooué**

La donnée « permis d'exploration » est la seule dont nous disposions. Faire une analyse à partir de celle-ci prêterait à confusion, voire serait erronée. Premièrement, plusieurs villes y sont englobées, mais la superficie occupée par l'activité d'exploitation est l'opposé de celle désignée pour l'exploration. En effet, la superficie totale affectée au secteur pétrolier est de 111 277 km$^2$, seulement 1% est attribué à l'exploitation (MOUSSAVOU G. & MAMBELA J. E., 2016). La figure 120, ci-après, fait mention de la superficie dédiée à l'exploration et celle à l'exploitation, dans le cas de la société Maurel et Prom. la zone affectée à l'exploration qui se superpose avec les autres affectation est de 6 027 km$^2$, alors que l'unique permis en exploitation n'occupe 88 km$^2$.

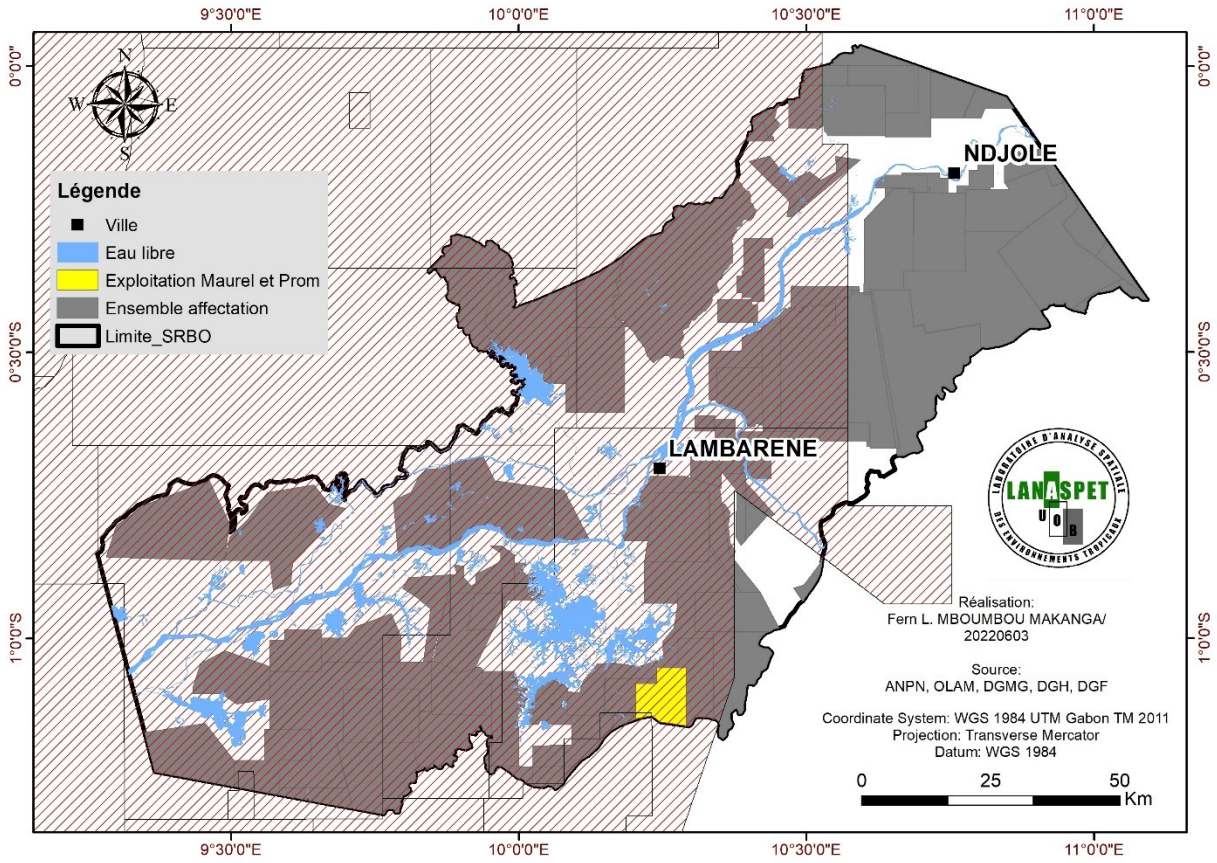



**Figure 120: Blocs pétroliers et permis d'exploitation pétrolière dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

La somme des affectations, permis d'exploitation minière, concession forestière, permis d'exploitation pétrolière et parcelles agro-industrielles totalise une superficie de 9 064 km$^2$. En l'état, cette superficie est de loin supérieure à celle des espaces affectés dans le site Ramsar. Cet état de fait s'explique par les différentes superpositions d'affectation rencontrées dans le Site. En effet la somme des affectations dans le Site est évaluée à 8 479 km$^2$. Toutes les superpositions (mine, pétrole ou ago-industrie) reposent sur les concessions forestières et sont évaluées à 900 km$^2$ (figure 121, ci-après).

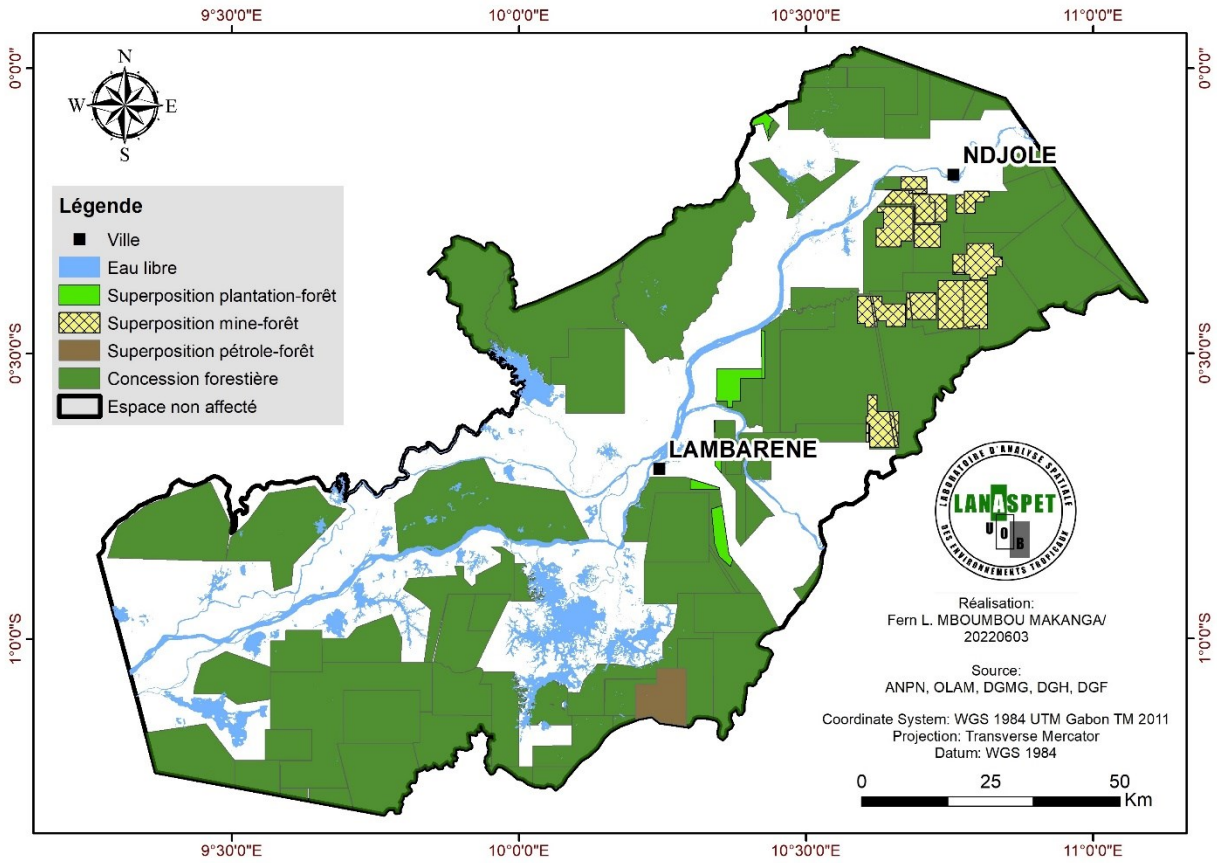



**Figure 121: Superpositions des concessions industrielles**

Les superpositions entre permis pétrolier, minier, agricole et forestier ne semble pas poser de problème et ne ferais pas l'objet d'une analyse d'inadéquation. En effet, des discussions informelles avec le Conservateur du Site Ramsar et les membres de la Commission Technique de la Commission Nationale d'Affectation des Terres nous ont permis de confirmer cette affirmation.

### 9.2.2. Les affectations inadéquates

L'analyse des données a prouvé que six affectations peuvent être désignées ou catégorisées comme inadéquates. : En fait, Il s'agit des concessions aux objectifs ou activités inapproprié (e)s ou inadéquat(e) s aux écosystèmes des zones de leurs installations. Précisons que toutes les affectations inadéquates sont des concessions forestières. Elles totalisent une superficie de 1 290 km$^2$ repartis aussi bien au nord qu'au sud du site, entre les provinces de l'Ogooué-Maritime, du Moyen-Ogooué et de l'Estuaire (tableau 31 , ci-après).

**Tableau 31: Liste des concessions en inadéquation dans la forme**

| Id | Province | Type | Opérateur | Superficie ($km^2$) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Estuaire / Moyen-Ogooué | CFAD | HUA JA | 481 |
| 2 | Moyen-Ogooué | RESERVATION GSEZ | GSEZ | 429 |
| 3 | Moyen-Ogooué | RESERVATION GSEZ | GSEZ | 134 |
| 4 | Ogooué-Maritime | CFAD | OUSSAVOU | 109 |
| 5 | Moyen-Ogooué | CPAET | TBF | 81 |
| 6 | Moyen-Ogooué | CFAD | SUNLY G | 56 |

**Source : Direction Générale des Forêt, 2021**

Ainsi, trois groupes d'affectations inadéquates sont considérées, à savoir :

- les permis forestiers au niveau des savanes,
- les concessions forestières dans des zones dégradées,
- les concessions forestières où il y'a plus de zones humides.

*9.2.2.1. La CFAD HUAJA*

La CFAD HUAJA est le plus grand site parmi les concessions en inadéquation avec le milieu. En effet, elle s'étend sur 481 $km^2$ et est localisée au nord-ouest du site, à 22 km de Lambaréné sur l'axe Bifoun-Lambaréné. Si dans un premier cas de figure, la forêt primaire semble occuper plus de 50 % du permis, un problème se pose notamment sur les 19 % qu'occupe la végétation dégradée (figure 122, ci-après).

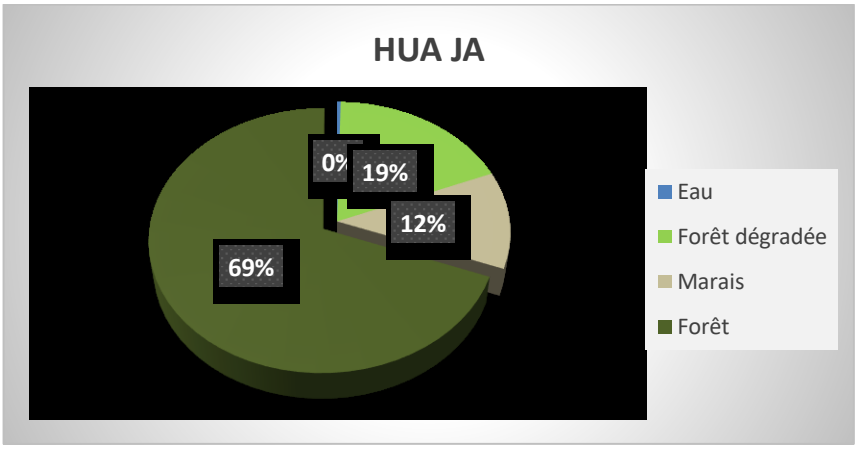



**Figure 122: Répartition des éléments d'occupation du sol dans la CFAD HUAJA**

En effet, la végétation dégradée est en elle-même enchevêtrée dans plusieurs secteurs d'activités anthropiques (figure 123, ci-après). Cet espace forestier dégradé devrait être dédié à l'extension des zones urbaines et leurs infrastructures, quand, de

surcroît, elles se situent aux abords de la voie routière nationale, où se retrouvent déjà des villages et hameaux à intervalles irréguliers.

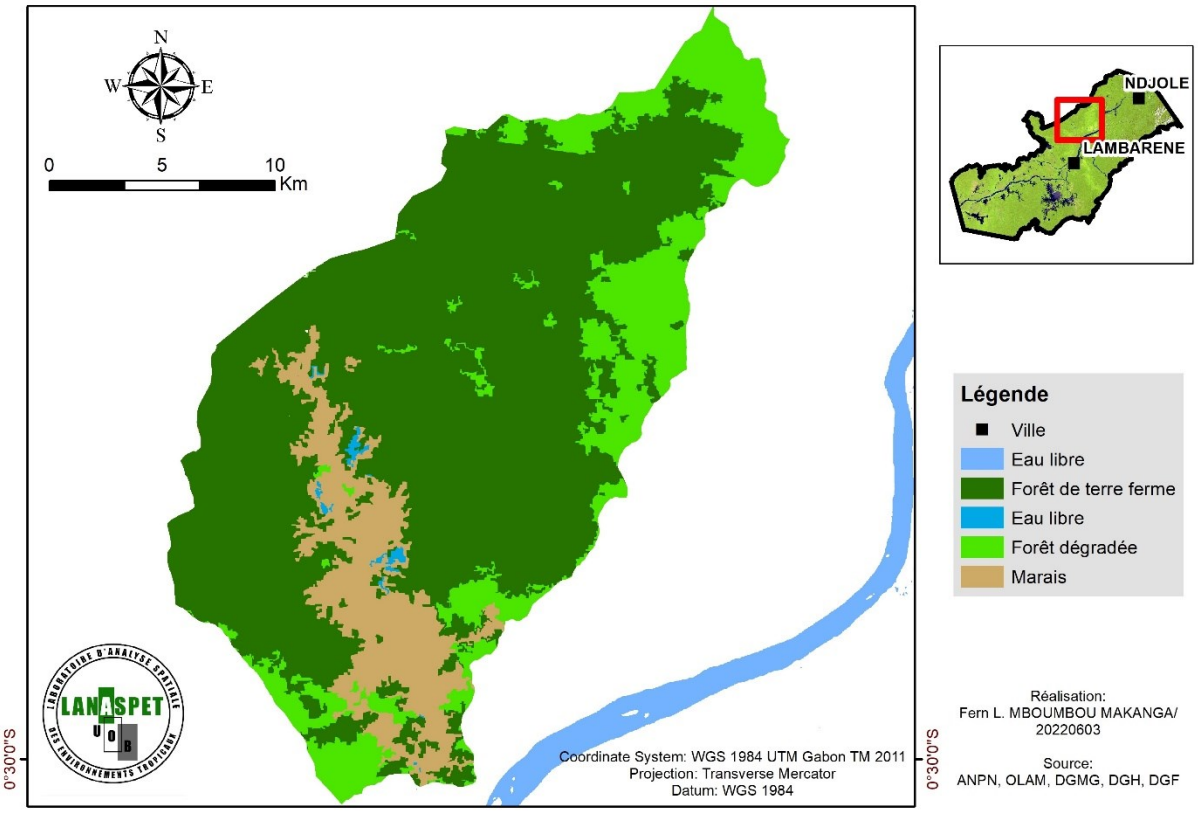



**Figure 123: Ocupation du sol dans la Réservation GSEZ dans la zone de la rivière Mbiné**

### *9.2.2.2. La Réservation GSEZ sur l'Ogooué et l'Ouango*

Ces zones dites « réservation GSEZ » sont des espaces attribués à la société Olam, en compensation financière pour le développement des activités économiques, desquelles l'agro-industrie et l'exploitation forestière. D'ailleurs, s'étendant sur l'ensemble du territoire national, certaines d'entre-elles ont déjà muté en CPAET. Or, compte tenu de la configuration spatiale de ce site, des activités d'agroforesterie, d'agro-industrie, d'exploitation forestière n'y sont pas adaptés.

En effet, du point de vue de la foresterie, les ilots forestiers présents sur le site ne sont que, faiblement, représentés. En effet, il en comptabilise 30%, contre près de de 62% que totalisent les espaces humides (figure 124 et 125, ci-après). Ces ilots auraient beau

présenter des espèces assez coûteuses et rentables, l'aménagement, l'exploitation et l'exportation du bois nécessiteraient des investissements coûteux et rocambolesques.

L'agroforesterie et l'agro-industrie (culture du riz), quant à elles, produiraient une transformation des espaces par la destruction des écosystèmes présents, l'artificialisation des espèces, voir la naissance de nouvelles zones d'habitats (Nguyen H.D., 2018). De plus, ces zones se superposent à deux zones de conservation.

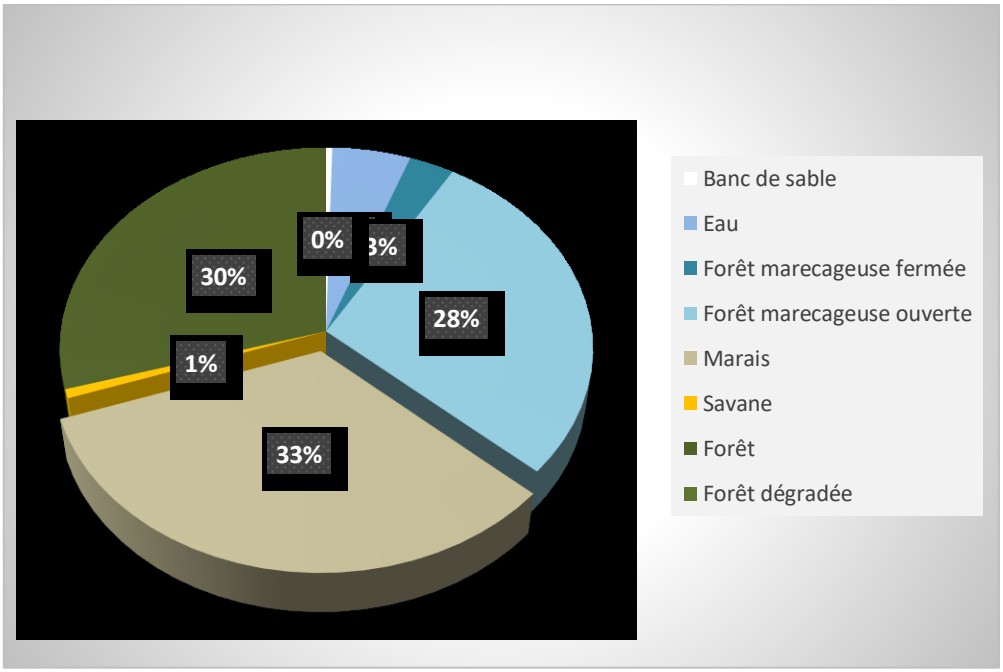



Figure 124: Répartition des éléments d'occupation du sol dans la réservation GSEZ dans la zone de la rivière Mbiné

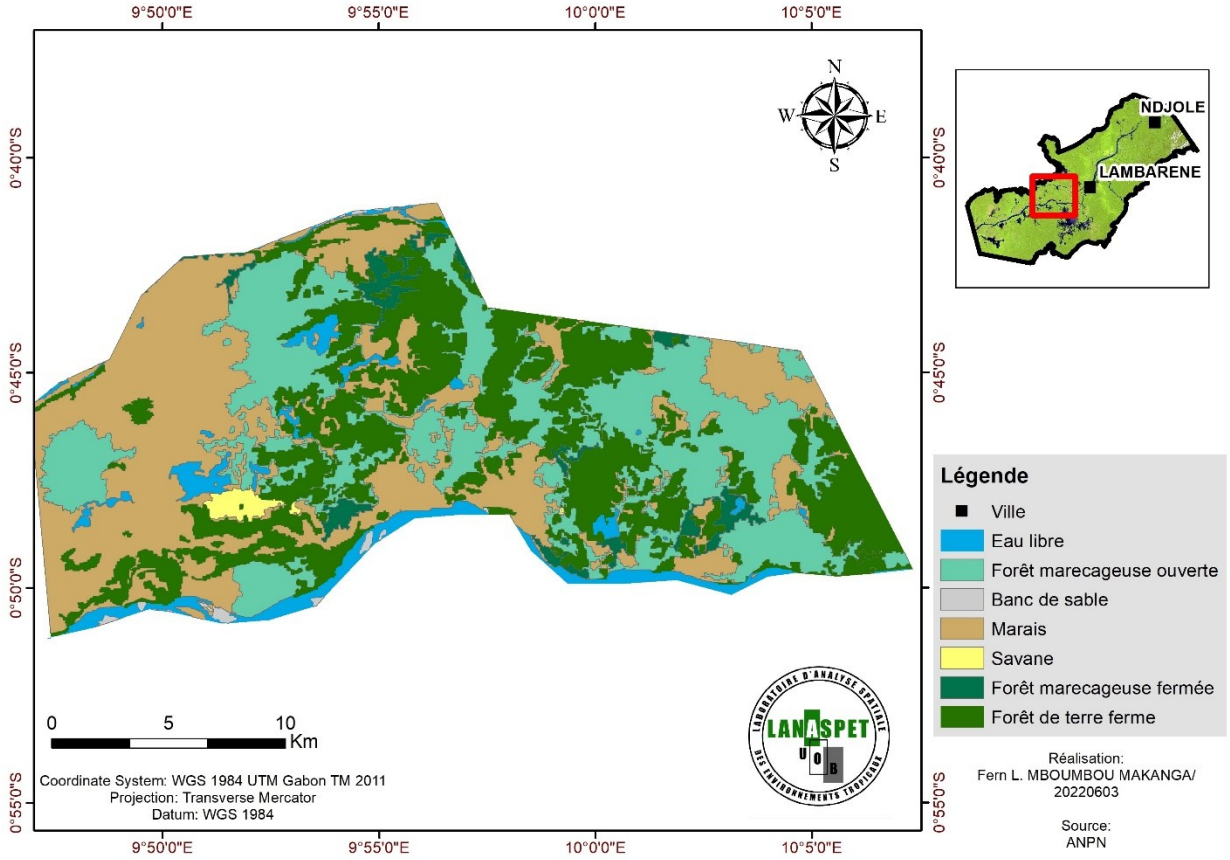



**Figure 125: Occupation du sol dans la Réservation GSEZ entre L'Ogooué et l'Ouango**

### *9.2.2.3. La Réservation GSEZ proche de Lambaréné*

Tout comme la CFAD HUAJA, la Réservation GSEZ proche de Lambaréné possède une grande partie de forêts secondaires nécessaires aux besoins des communautés, et qui peuvent s'ériger en zones d'extensions urbaines. A la différence avec la CFAD HUAJA où les forêts primaires sont bien marquées, dans le cas de la Réservation GSEZ l'élément d'occupation du sol le plus représenté est la forêt dégradée, située sur l'axe Lambaréné-Fougamou. En effet, les forêts dégradées représentent 48 % (65 $km^2$), contre 36 % pour les forêts primaires, soit 49 $km^2$ (figure 126, ci-après).

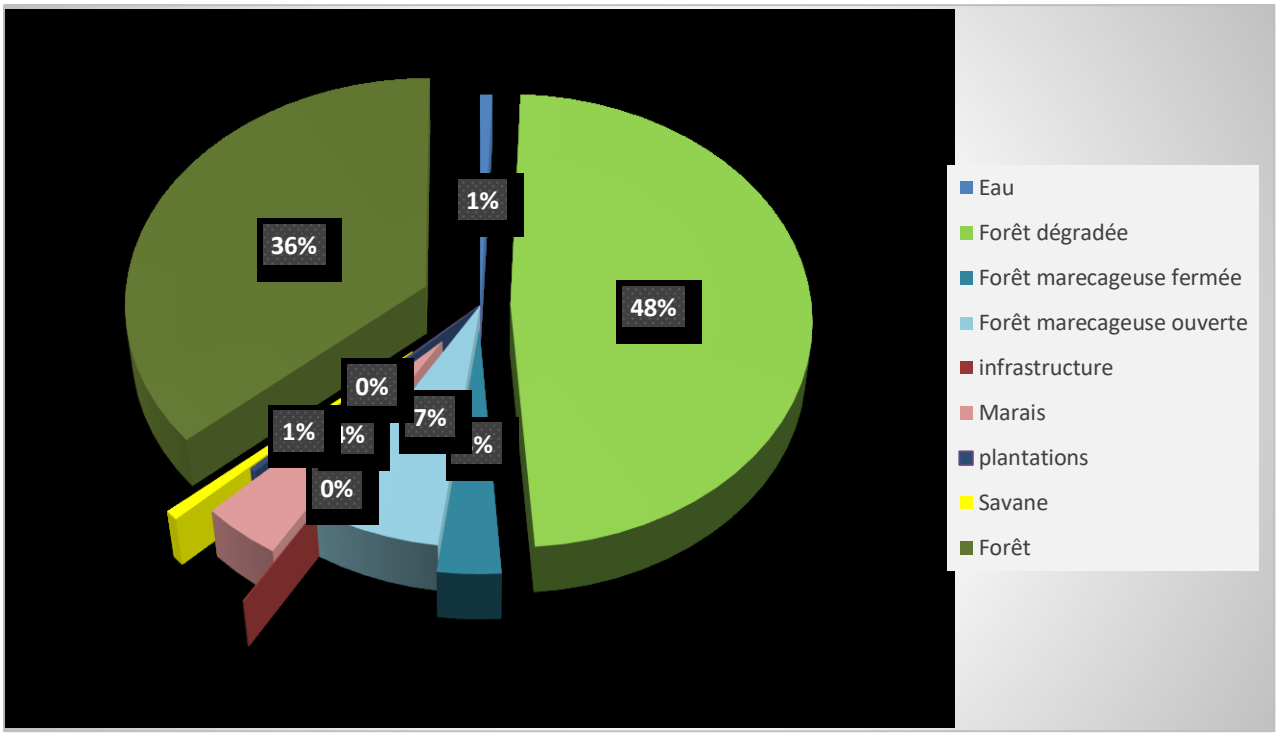



**Figure 126: Répartition des éléments d'occupation du sol dans la réservation GSEZ proche de Lambaréné**

Outre la part importante des forêts secondaires, l'autre fait aberrant est que le nord de cette réservation se superpose à la commune de Lambaréné et englobe même une partie du quartier Petit Paris 3, situé sur la rive gauche du fleuve Ogooué. En effet, l'un des éléments présents dans l'occupation du sol est le bâti qui s'étale sur 0,08 km$^2$ (figure 127, ci-après). Une infime partie, certes mais non dérisoire, surtout lorsque le Gabon a opté pour un Plan National d'Affectation des Terres qui se veut respectueux des droits de tiers en limitant les conflits d'usage des espaces.

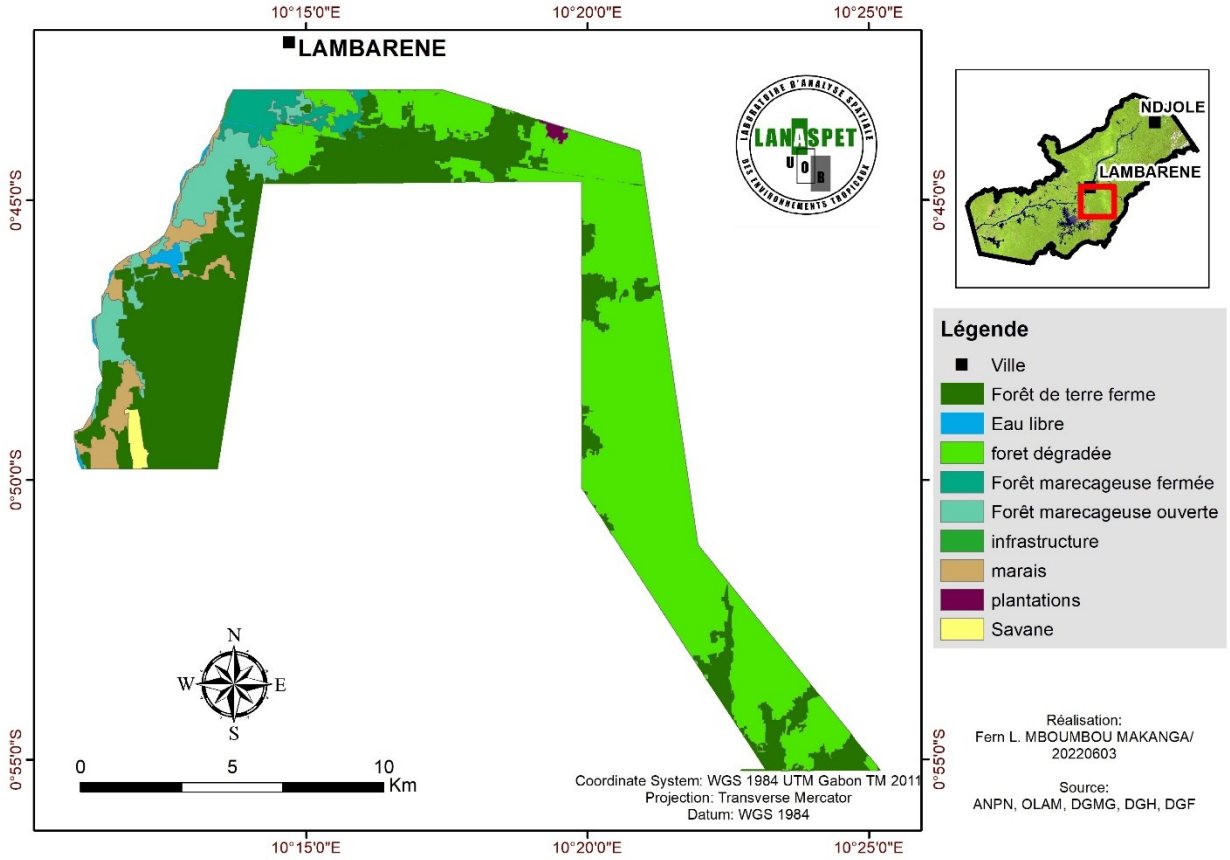



**Figure 127: Occupation du sol dans la Réservation GSEZ proche de Lambaréné**

### *9.2.2.4. La CFAD OUSSAVOU*

L'inadéquation de la CFAD OUSSAVOU, tient sur un seul élément, à savoir l'étendue des marais (figure 128, ci-après). En effet, la CFAD, située à 91 km à vol d'oiseau de Lambaréné, loge dans le vaste complexe marécageux de la région du delta intérieur de l'Ogooué ; entre les lacs Mandjé et Ovowé (ou lac Ovooué ; à 2,2 km de la rive ouest du lac Anengué).

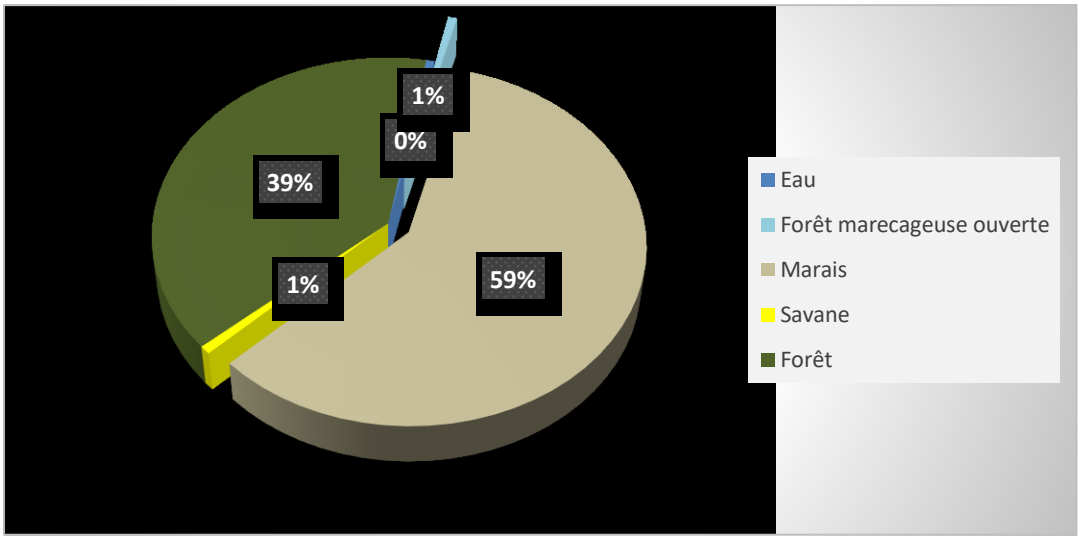



**Figure 128: Répartition des éléments d'occupation du sol dans la CFAD OUSSAVOU**

Sa petite superficie ne lui permet pas de s'étendre suffisamment pour gagner plus de forêt. Du point de vue de l'accessibilité et de l'exploitation il ne se pose, à priori, aucun problème ; cependant, il serait peut-être nécessaire de la délimiter à nouveau. Sinon quel serait l'intérêt de disposer d'un marécage de 64 $km^2$ dans un permis forestier, lorsque la forêt, elle-même ne s'étend que sur 43 $km^2$ (figure 129, ci-après) ?

La Direction Générale des Forêts ne dispose pas suffisamment de ressources pour des contrôles réguliers des concessions. Pour remédier à cela, devraient adoptés des outils de suivi à distance, tels que les cartes d'occupation du sol ou des outils tels que la télédétection ou un système d'alerte précoce *(Early Warning System)* permettant de suivre la dynamique des milieux, les activités d'exploitation et la planification des missions de terrain ou d'inspection ou de contrôle.

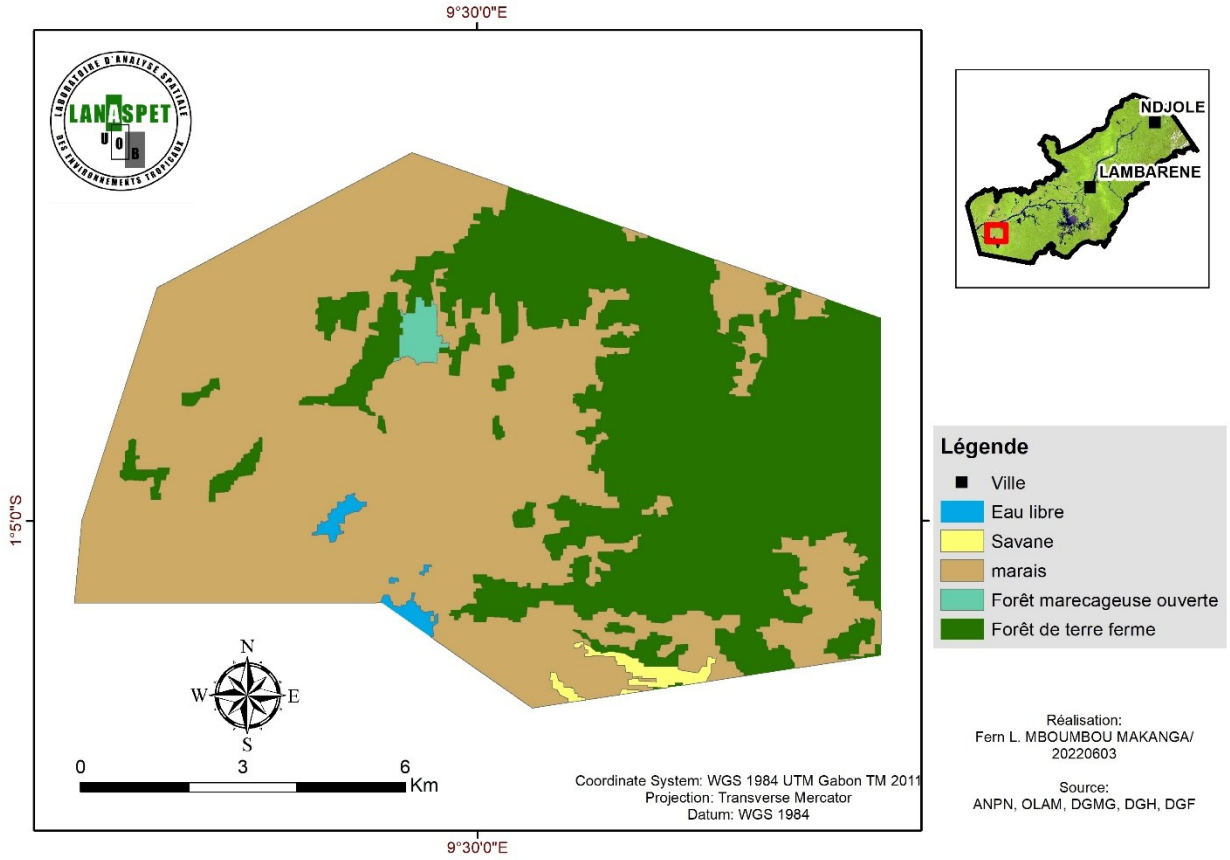



**Figure 129: Occupation du sol dans la CFAD OUSSAVOU**

### *9.2.2.5. La CPAET TBF*

En plus de disposer des éléments de présentation ou de suivi de l'occupation du sol à l'instant, l'autre aspect est de disposer de l'ensemble des affectations déjà existante. De de toutes les entités administrant des concessions, le Ministère de la Forêt est le secteur qui regroupe les affectations de terres les plus importantes sur l'ensemble du territoire gabonais. Dans le détail, il administre les permis forestiers, les réserves de faune et de chasse, les espaces sous conventions internationales (sites Ramsar, Patrimoine UNESCO…), les parcs nationaux terrestres, les arboretums, les parcs marins et réserves aquatiques.

La CPAET TBF a donc une place centrale dans le processus de la mise en place d'un plan national d'affection des terres. A ce titre, elle devrait disposer des limites actualisées en continue de toutes les autres affectations. Or, sur 25 km, elle se superpose aux plantations agro-industrielles de Zilé (figure 130 et 131, ci-après). Cette cohabitation est incompatible, dans la mesure où le palmier à huile n'est pas une essence commercialisable.

Cet espace recouvert, à majorité de forêt, devrait également faire l'objet d'une nouvelle délimitation pour prévenir les conflits.

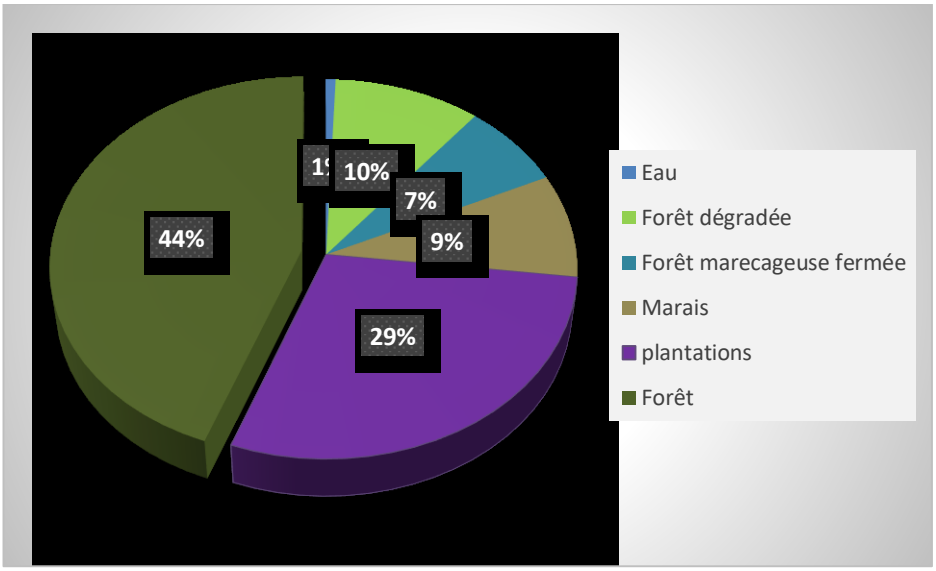



**Figure 130: Répartition des éléments d'occupation du sol dans la CPAET TBF**

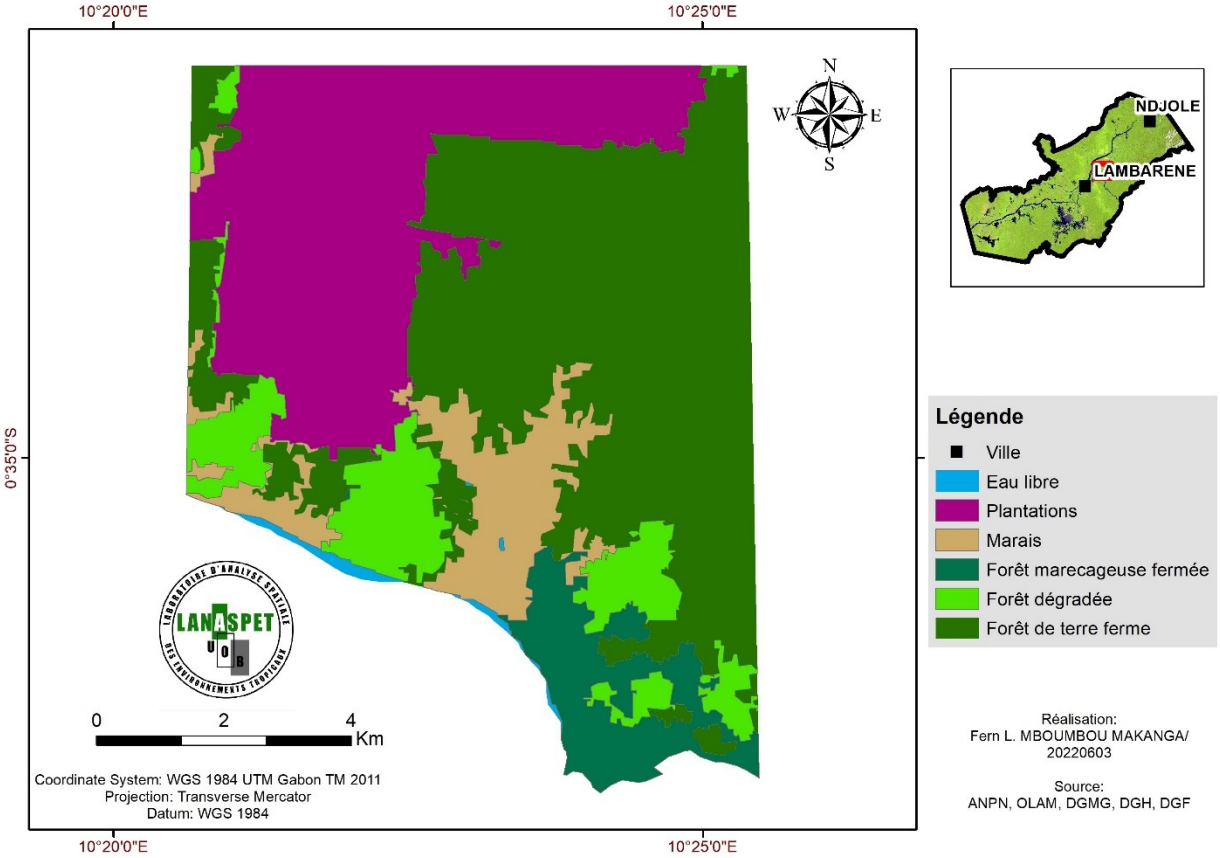



**Figure 131: Os dans la CPAET TBF**

## 9.3. Proposition de zonage du site Ramsar du Bas Ogooué

### 9.3.1. Les zones dédiées aux extensions urbaines et aux activités des communautés

Lambaréné est une ville centrale du pays, bénéficiant d'un accès multimodal. Elle a un emplacement stratégique et est un carrefour, permettant d'accéder à l'est, au nord ou au sud du pays. De plus Lambaréné est une ville dynamique avec des projets, des activités et du potentiel démographique croissant susceptible d'impulser son développement socio-économique, en adéquation avec un étalement urbain maitrisé.

Certes, l'état de conservation de ce delta intérieur est encore très bon et les populations humaines sont peu nombreuses, contrairement aux deltas du Nil et du Niger. Ces deux points font du delta de l'Ogooué un site unique en Afrique, voire dans le monde (DEPN et ANPN, 2020). Néanmoins, les villes de Lambaréné et Ndjolé s'ouvrent progressivement vers un développement économique marqué par la consolidation du processus d'industrialisation de la filière bois, des perspectives d'installation d'entreprises devant œuvrer dans le domaine des mines et du pétrole, à l'instar de Maboumine et Maurel & Prom.

Lambaréné a fait l'objet d'un plan de développement communal devant être en œuvre entre 2016 et 2021. Malheureusement, la gouvernance du commun reste confrontée à un certain nombre de problèmes et de contraintes, qui ont mis en mal l'application des recommandations de ce plan de développement communal. Cette situation ouvre la voie à la multiplication de problèmes liés à l'environnement, notamment l'ouverture des décharges publiques sans études préalables devenant des sources de pollutions, particulièrement par la contamination des eaux. Les huiles usées des entreprises et les huiles de vidange des moteurs thermiques, issues des garages anarchiques et des entreprises industrielles, constituent de gros foyers de pollution ; car, elles sont reversées dans les petits cours d'eau ou directement dans le fleuve.

Le Bas Ogooué a comme particularité d'être, *primo*, un site Ramsar disposant de deux principales villes (Lambaréné et Ndjolé) à accès multimodaux, *secundo* d'avoir une grande diversité d'espèces faunique et floristique et, *tertio*, de renfermer des marécages et des territoires hydrologiques importants. Ces atouts peuvent permettre au Gestionnaire Ramsar de solliciter des fonds pour permettre le développement des premières villes

durables de la sous-région, dans un double contexte équilibré de conservation et d'exploitation des ressources.

Ce financement pourra servir d'appui aux collectivités de Ndjolé et de Lambaréné dans l'élaboration et la mise en œuvre des plans d'urbanisme durable. L'un des éléments phare serait de participer aux efforts de limitation de l'urbanisation non maitrisée préconisés par le Schéma Directeur d'Aménagement Urbain (SDAU). La gestion de la croissance urbaine est essentielle à définir dans le plan de zonage, afin de matérialiser l'armature urbaine et le plan d'occupation des sols.

Pour ces zones, dont le détail pourrait faire l'objet d'une autre étude, nous préconisons d'adopter les zones dégradées comme espaces pour organiser l'extension urbaine et contenir l'étalement urbain. La forêt secondaire, par opposition à la forêt primaire, est une forêt (biomasse ligneuse) qui a repoussé (plantée, ou de manière spontanée, par régénération naturelle, en une ou plusieurs phases), après avoir été détruite (par exemple par l'agriculture sur brûlis) ou exploitée par l'homme.

La rentabilité commerciale de forêt dégradée n'est d'un intérêt que pour la chasse et le tourisme ; fréquemment cela est en droite ligne des premières motivations des aménageurs. Néanmoins, à la fin des années 1900, un courant "écologiste" et certaines écoles de sylviculture ou dynamiques de certification ont cherché à concilier par une gestion restauratrice et soutenable des objectifs économiques, sociaux (incluant fonctions aménitaires et intérêt pour la santé) et environnementaux, dont l'efficacité et les résultats sont fréquemment discutés (Wikipédia, 2022). Toutefois, en prenant en compte tous ces éléments, nous préconisons d'intégrer ces forêts dans les plans d'urbanisation.

Deneke (1993) définit la foresterie urbaine comme la planification, la plantation, la protection, l'entretien et le soin durables des arbres, des forêts, des espaces verts et des ressources connexes dans les villes et collectivités, ainsi qu'en périphérie de celles-ci. L'objectif étant de fournir aux gens des bienfaits associés à l'économie, à l'environnement, à la société et à la santé publique. Cette définition comprend la préservation des arbres et du couvert forestier, alors que les populations s'étendent dans les zones rurales environnantes, et la remise en valeur de secteurs vitaux du milieu urbain après les travaux de construction. L'expansion de l'interface entre les zones urbaines et rurales pose des

inquiétudes en matière de santé et de sécurité de l'environnement et du public mais elle offre également des possibilités de former des liens éducatifs et environnementaux entre les résidents urbains et la nature.

S'ils sont gérés convenablement, les forêts et les arbres dans les milieux urbains et périurbains peuvent contribuer de manière importante à la planification, à la conception et à la gestion de paysages durables et résilients (Salbitano F. & *al*, 2017). Ils peuvent rendre les villes :

- plus sûres - en réduisant l'écoulement des eaux d'orage et les impacts des tempêtes de vent ou de sable, en atténuant l'effet des îlots thermiques, et en facilitant l'adaptation aux changements climatiques ou l'atténuation de leurs effets ;
- plus agréables - en offrant des espaces de récréation et des sites pour les événements sociaux ou religieux, et en améliorant les conditions météorologiques extrêmes ;
- plus saines - en améliorant la qualité de l'air, en offrant des endroits propices à l'activité physique, et en promouvant le bien-être psychologique ;
- plus prospères - en offrant la possibilité de produire des aliments, des médicaments et du bois, et en générant des services écosystémiques à forte valeur économique ;
- plus diversifiées et attirantes - en offrant des expériences naturelles pour les résidents urbains et périurbains, en améliorant la diversité biologique, en créant des paysages diversifiés, et en préservant les traditions culturelles.

Les villes de Ndjolé et Lambaréné pourraient souscrire soit au deuxième type de forêts urbaines, soit celles s'établissant dans des boisements anciens qui étaient là avant l'accroissement urbain. En dehors de ces zones, on peut ajouter les zones de forêts communautaires, qui correspondent au domaine forestier rural prévu par la loi 16/2001 portant Code Forestier en République Gabonaise (figure 132, ci-après).

Ces forêts sont dédiées à l'exercice des droits d'usages coutumiers, qui, selon l'article 252 du Code Forestier, a pour objet la satisfaction des besoins personnels ou collectifs des communautés villageoises qui portent notamment sur :

- l'utilisation des arbres comme bois de construction, et celle du bois mort ou des branches comme bois de feu ;
- la récolte des produits forestiers secondaires, tels que les écorces, le latex, les champignons, les plantes médicinales ou comestibles, les pierres, les lianes ;
- l'exercice de la chasse et de la pêche artisanales ;
- le pâturage en savane, en clairières et l'utilisation de branches et feuilles pour le fourrage ;
- la pratique de l'agriculture de subsistance ;
- les droits de pacage et d'utilisation des eaux.

D'autres zones devraient être considérées pour affiner cette donnée, notamment, celle du finage des villages présents sur le site. Cette donnée pourrait être disponible d'ici l'année 2023, à travers l'activité de cartographie participative de l'ensemble du territoire initiée par l'Etat gabonais dans le cadre du programme Initiative Forêt d'Afrique Centrale (CAFI).

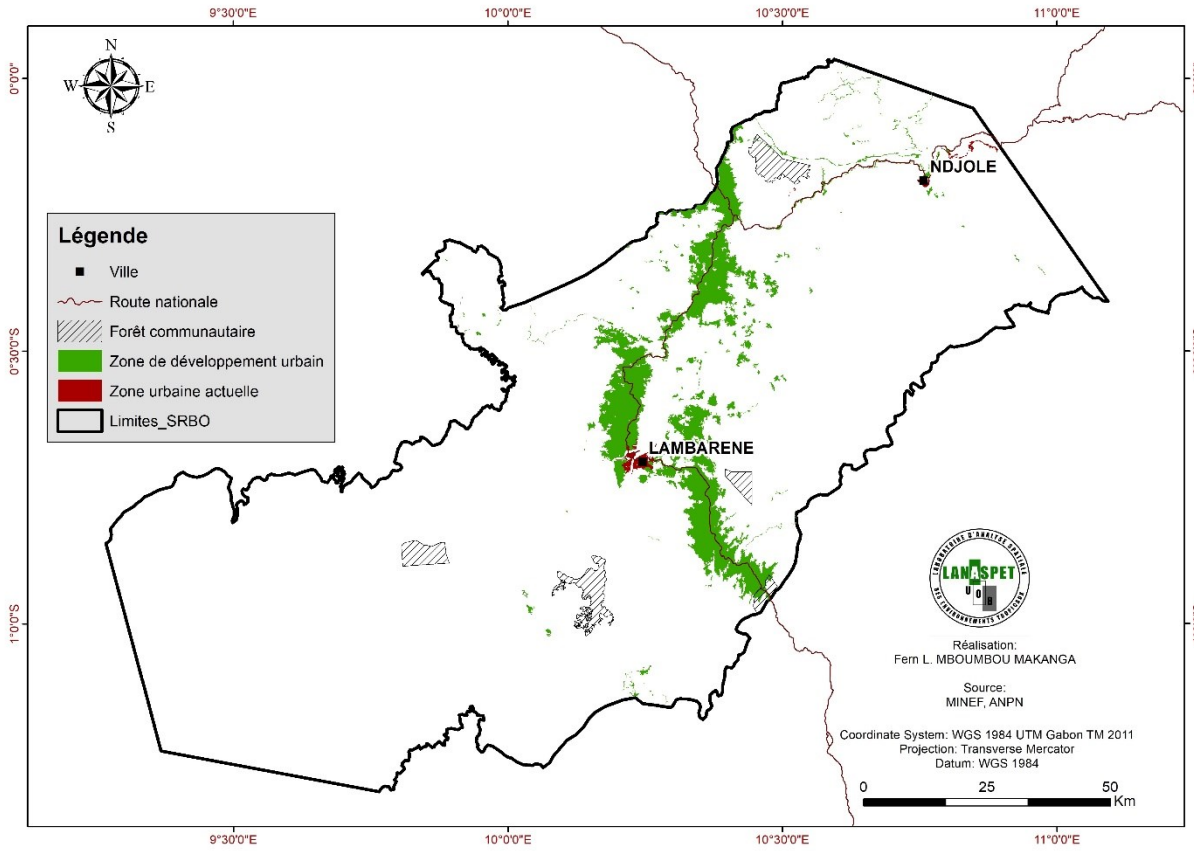



**Figure 132: Espace de développement urbain et d'usages communautaires dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

### 9.3.2. Les zones de gestion intégrée

L'analyse de l'occupation du sol montre la prédominance de l'eau. Présente tant en surface que de façon souterraine, l'eau est le vecteur identitaire de plusieurs espaces, aussi bien naturels qu'anthropisés naturels : rive gauche, rive droite, Lac sud, ... Le positionnement des villes de Ndjolé et Lambaréné, au bord de l'Ogooué, illustre ce dialogue permanent entre l'homme et la nature. Aujourd'hui encore, la question de la maîtrise de l'eau se pose au sein des deux villes entre exploitations diverses, agro-industrie, et gestion de déchets. Le choix de planifier l'étalement urbain engage une politique d'intensification de la ville, sur des espaces susceptibles d'être des zones humides. Le plan de zonage proposé dans ce travail se veut être un outil permettant d'organiser ce dialogue entre ville et nature.

Après analyse, nous parvenons à discriminer deux types de zones de conservation : une zone humide centrale et une zone tampon. Dans le cadre du programme *Man and Biosphere/*l'Homme et la Biosphère (MAB UNESCO), la zone centrale est une aire légalement établie pour la protection à long terme des espèces, écosystèmes et des processus écologiques. Habituellement, aucune activité anthropique ne peut avoir lieu dans une zone centrale, à l'exception de travaux de recherche et de surveillance et, dans certains cas, d'activités extractives traditionnelles pratiquées par les communautés locales (Ramsar, 2010). A l'intérieur du site Ramsar du Bas Ogooué, certaines zones de conservation englobent des villages à cause de leurs caractéristiques écologiques, leur importance dans le fonctionnement global de la machine hydrologique, et leurs intérêts socio-culturels pour les communautés riveraines. Des discussions ont eu lieu et des accords de principe ont été donnés par les acteurs de ces lieux. Quatre zones de conservation peuvent être retenues ; il s'agit de :

- Zone de Conservation *d'Azingo (1856 ha)*

Cette zone abrite des forêts uniques au Gabon. En effet, on note la présence des forêts marécageuses à *Ctenolophon,* unique pour son rôle dans le maintien de la végétation forestière. La zone abrite aussi un important effectif de lamantins, d'hippopotames et de crocodiles. Aussi son étendue de peupliers flottants lui confère une zone propice à la reproduction des espèces aquatiques.

- Zone de Conservation *d'Ouango (*26 864 ha*)*

La rivière commence par un petit rapide (segment de fleuve très agité, à pente forte et courant fort) créé par une barre rocheuse rendant son accès difficile lors des basses eaux. La zone se trouve dans la grande plaine alluviale du Bas Ogooué. Elle abrite un important effectif d'hippopotames, de lamantins et d'éléphants. De grandes superficies de forêts de terre ferme favorisent la présence de la grande faune. Ces forêts s'entrecoupent de vastes prairies marécageuses à *Persicaria madagascariensis* et *Echinochloa stagnina.* Des observations faites par vol aériens ont révélé la présence de nombreuses empreintes de buffles et d'éléphants, d'où l'hypothèse que ce site jouerait le rôle de corridor entre les vastes savanes au nord dans la zone de Wonga-Wongué et les formations forestières au sud dans la plaine deltaïque supérieure.

- *la* Zone de Conservation *d'Evaro (26 871 ha)*

La région d'Évaro se caractérise par une végétation hétérogène résultant de nombreuses modifications dues à l'exploitation forestière. Au niveau floristique, sont présentes des espèces telles que *Dactyladenia chevalieri, Dialium bipindense* et *Calpocalyx klanei* subéndémiques du Gabon à plus de 80%, et cependant localisées aussi au Cameroun et en Guinée-équatoriale (Boupoya A. et Stevart E., 2013) . Si ces espèces subéndémiques ne sont pas typiquement inféodées à la région d'Evaro en particulier et au Gabon en général, elles montrent une distribution inféodée à la zone côtière du pays. Bien qu'étant subéndémiques, ces espèces sont importantes pour la conservation, car étant confinées à la zone côtière. La flore d'Évaro renferme aussi des espèces importantes comme *Vigna adenantha* et *Chassalia subnuda*. La première est nouvellement citée pour la flore du Gabon (Raponda Walker R.W. et Sillan R.,1961), tandis que la seconde n'avait été signalée qu'une seule fois au Gabon par Jongkind en 2003 dans la forêt de la Mondah, c'est à dire en zone côtière (Stévart et *al*, 2015).

- *la* Zone de Conservation *de Lambaréné (221 ha)*

La partie marécageuse de la ville de Lambaréné forme un vaste marais couvert de papyraies et d'herbiers à *Echinochloa* et bordé de raphiales. Elle est très importante pour la régulation des crues dans la ville.

Les secteurs tampon de ces zones sont considérés *non-aedificandi* (figure 133, ci-après). Il s'agit, entre autres, des forêts marécageuses, savanes, marais, eaux libres, y compris les bancs de sables fluviaux. Ces secteurs tampons représentent les milieux d'activités contrôlées (pêche, collecte de produits forestiers non ligneux, agriculture de conservation, recréation, éducation environnementale, sauvegarde des sites de ponte des tortues, recherche, etc.). La superficie totale de l'ensemble des secteurs tampon est 3592 km$^2$. Tout comme les zones de conservation ou zones centrales, plusieurs espaces comprenant les secteurs tampons sont intégrés aux permis forestiers, dont les exploitants sont sensés les protéger.

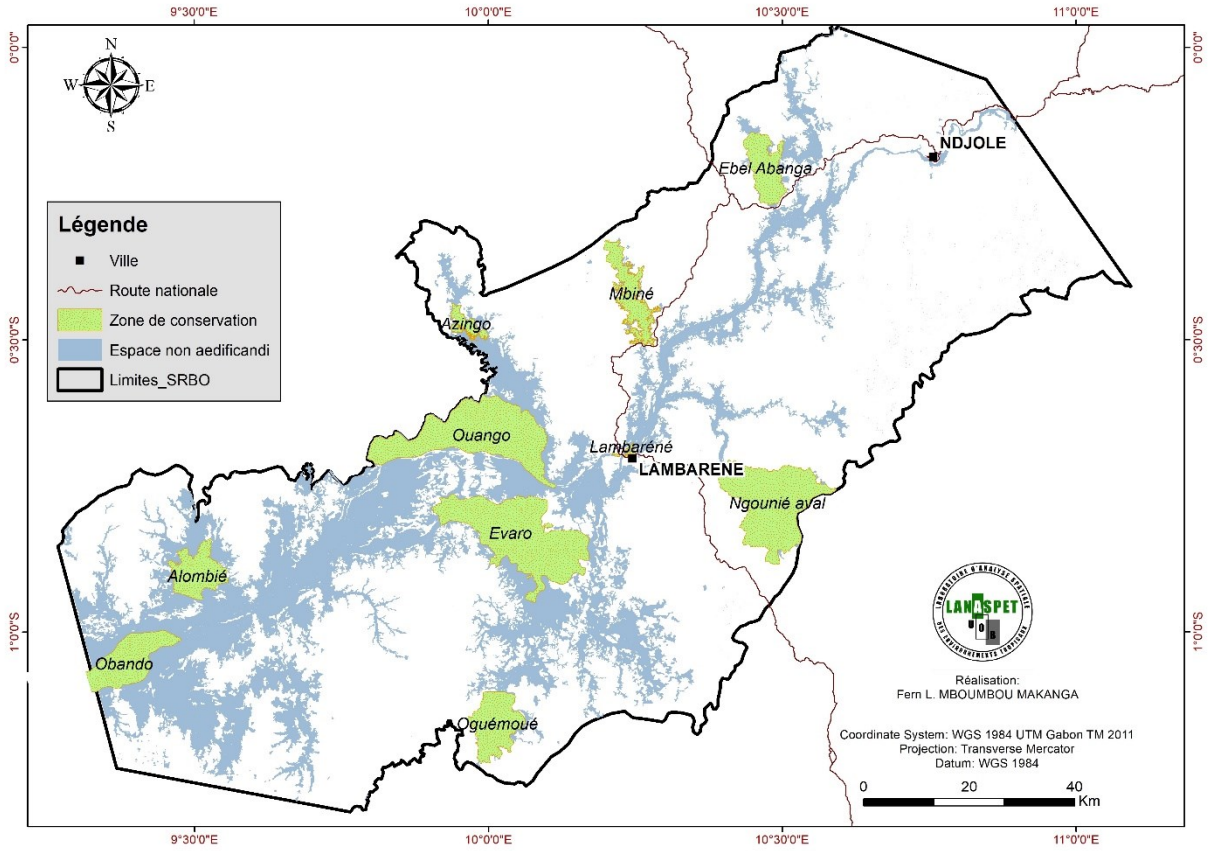



**Figure 133: Zones de conservation et espaces *non aedificandi* dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

### 9.3.3. Les propositions de modes de gestion du site Ramsar du Bas Ogooué

#### *9.3.3.1. Le plan de zonage*

Le plan de zonage du site Ramsar Bas Ogooué prévoit sept sous-zones bien distinctes reparties sur l'ensemble du site Ramsar (figure 134, ci-après). Comme une enveloppe concentrique, il se développe du centre vers l'extérieur. Au centre, nous avons les centres urbains actuels et les espaces de végétation dégradées, sur lesquels peuvent être

faites des projections d'extension urbaine. Au-delà la zone d'extension urbaine s'étend les zones *non aedificandi* composées des eaux et des marécages.

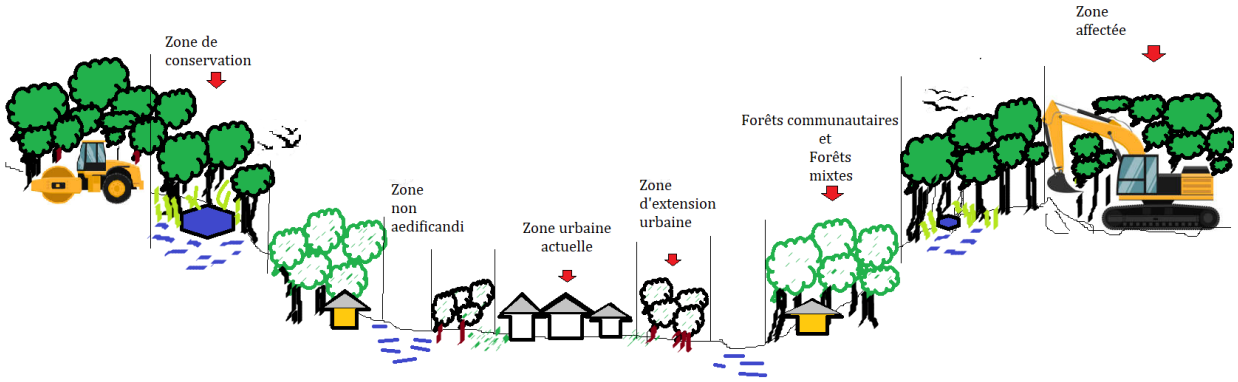



**Figure 134: Transect du zonage du site Ramsar du Bas Ogooué**

**Réalisation : Fern MBOUMBOU MAKANGA**

Au-delà de ces zones *non aedificandi*, se retrouvent les forêts domaniales mixtes. qui ne font l'objet d'aucune affectation officielle. Certes appartenant aux forêts domaniales, ces zones sont qualifiées de mixte parce que les populations installées y tirent déjà depuis longtemps leurs produits de subsistance. Ces zones peuvent à tout moment faire l'objet de diverses affectations, mais celles relatives aux droits des communautés devraient-être privilégiées.

Au-delà de ces zones s'étendent les zones de conservation devant être des îlots à préserver ou entretenir pour leurs services écosystémiques importants. Enfin, nous avons les zones affectées qui représentent l'ensemble des permis présents sur le site Ramsar du Bas Ogooué. Il est important de préciser que certaines zones *non aedificandi* et zones centrales ou de conservation se superposent à ces zones affectées. De même certaines forêts communautaires se superposent à des zones centrales. En substance, ces superpositions ne devraient générer aucun conflit, car les acteurs de ces différentes zones prennent en compte et comprennent l'enjeu consacré à telle ou telle zone.

Tels que recommandés selon le Manuel 18 de la convention de Ramsar sur la gestion des sites inscrits, il est préférable que ces derniers, s'ils n'ont pas de zones tampons, adoptent le zonage des réserves de biosphère. « *Les réserves de biosphère sont des « lieux d'apprentissage du développement durable ». Ce sont des sites qui permettent de tester des approches interdisciplinaires afin de comprendre et de gérer les changements et les interactions entre systèmes sociaux et écologiques, y compris la prévention des conflits et la*

*gestion de la biodiversité. Ce sont des endroits qui apportent des solutions locales à des problèmes mondiaux* » (UNESCO, 2021).

Ainsi, comme les réserves de biosphère, peuvent être rassemblées les sept sous-zones de gestion dans les trois catégories (figures 135 et 136, ci-après) :

- les zones humides centrales correspondant aux zones de conservation ;
- les zones tampons correspondant aux espaces *non-aedificandi*, aux zones urbaines et d'extensions urbaines, aux forêts communautaires et domaniales mixtes ;
- les zones de transition correspondant aux zones affectées.

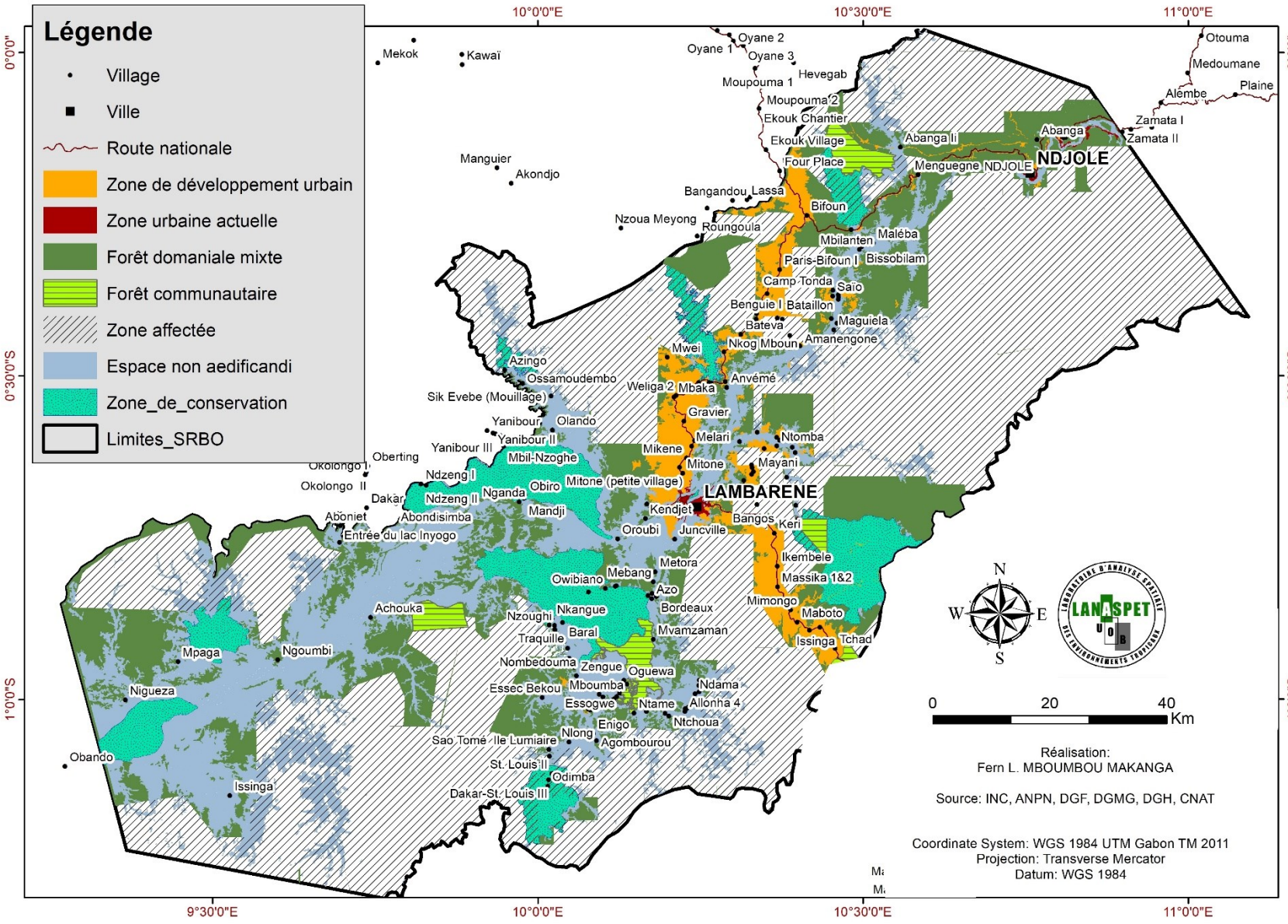



**Figure 135: Zonage du site Ramsar du Bas Ogooué avec les lieux habités**

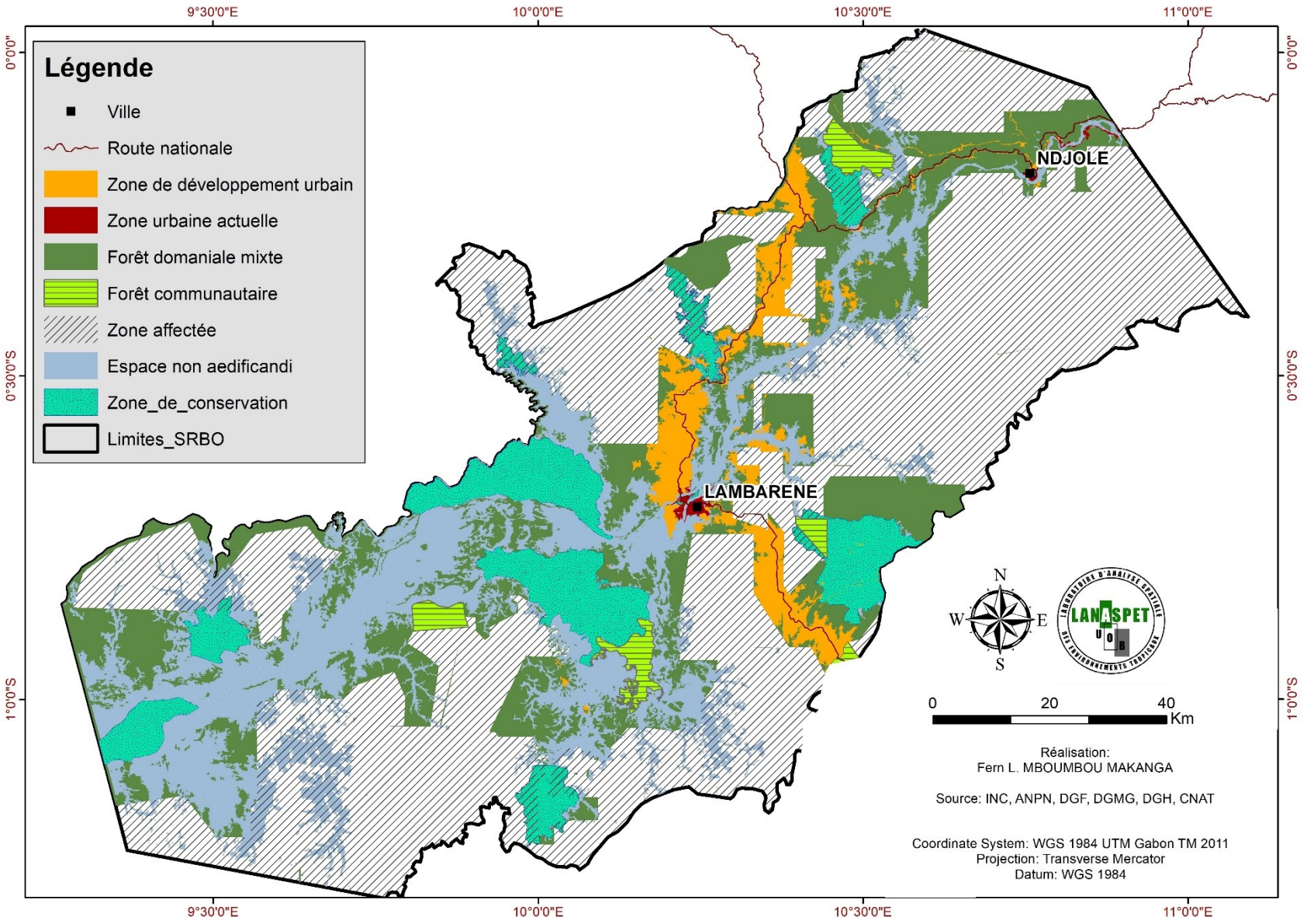



**Figure 136: Zonage du site Ramsar du Bas Ogooué**

Ces zones ci-établies vise un développement harmonieux respectueux de l'environnement et de la ressource. Les villes de Ndjolé et de Lambaréné pourraient tendrent à devenir les premières villes durables du Gabon. Cette perspective passe par l'élaboration du cadre de vie les actions relatives à la sensibilisation, l'éducation à l'environnement, la gestion participative des ressources et la recherches seraient les clés.

*9.3.3.2. Les règles de gestion*

Les règles de gestion représentent ici l'ensemble des dispositions juridiques locales conventionnelles, qui permettent aux communautés de gérer durablement le site. Elles devraient prévoir les mécanismes de sanctions, en cas de non observance de ces règles. Elles permettraient également d'atténuer les conflits d'usages entre les populations locales riveraines et les acteurs industriels. A cet effet, le tableau 32, ci-après, présente les règles de gestion proposées avec la participation des populations locales.

**Tableau 32 : Règles de gestion participative proposée dans le site Ramsar du Bas Ogooué**

| **Zones** | **Sous-zones** | **Etendues** | **Principaux objectifs de conservation** | **Règles de gestion** |
|---|---|---|---|---|
| Zone centrale | Zone de conservation | 1 149,8 km$^2$ | -Protection des ressources des processus<br><br>- Zone de conservation intégrale | - Education environnementale, Recherche<br><br>-Toutes activités proscrites, en dehors des usages autochtones |
| Zone tampon | Zone *non aedificandi*<br>Forêts domaniales mixtes<br>Forêt communautaire<br>Zone urbaine actuelle<br>Zone d'extension urbaine | 5 002, 98 km$^2$ | - Effet tampon pour conserver les processus écologiques naturels de la zone centrale<br>- Limiter le front de pression anthropique venant de la zone de transition<br>- Protection des sites de pontes et des tortues marines | - Pêche contrôlée et exclusivement pendant la période d'ouverture des pêcheries<br><br>- Recréation, Éducation Environnementale, Recherche<br><br>- Toutes activités dont l'impact sur le chenal est minimisé<br><br>- Reboisement et restauration forestier en diverses essences locales |
| Zone de transition | Zones affectées | 7 481, 75 km$^2$ | Utilisation raisonnée des ressources forestières et aquatiques | Activités industrielles, respectueuses de l'environnement. |

Réalisation : Fern MBOUMBOU MAKANGA (éléments tirés de UNESCO,2021 et de AGB,2018)

#### *9.3.3.3. Le mode de gestion*

La gestion du site Ramsar du Bas Ogooué devrait s'inscrire dans un double contexte, celui de la mise en place d'un nouveau Plan National d'Affectation des Terres (PNAT) et celui de la présence du label Ramsar. Le PNAT doit permettre d'allouer de manière optimale les zones aux différents usages, en excluant autant que possible les forêts primaires, à Haute Valeur de Conservation (HVC) et à Haut Stock de Carbone (HSC). Il permettra d'atténuer de façon directe et indirecte les moteurs de la déforestation présente et future, en planifiant et en orientant l'expansion des activités agricoles, l'exploitation forestière, le développement des infrastructures et les activités minières.

La réalisation du PNAT VO au Gabon s'inscrit dans une approche transversale d'aménagement du territoire clairement identifiée dans la stratégie de développement du Gabon portée à un niveau politique le plus élevé, à savoir le Président de la République. Il se fonde sur un diagnostic technique, juridique et administratif réalisé avec l'ensemble des administrations, la société civile, et le secteur privé, sur la situation des terres affectées au Gabon. Ce diagnostic a établi, sur la base des documents disponibles et des données des administrations, la situation des terres affectées au Gabon et mis en évidence des chevauchements et des incompatibilités d'affectation et certains conflits d'affectation. *In fine*, le PNAT V0 suggère d'aller plus loin en réalisant un Plan National d'Affectation des Terres basé notamment sur la collecte des données de terrain, afin d'optimiser le processus d'affectation des terres au Gabon.

Fort de ce diagnostic, le Gabon entend réaliser un nouveau plan national d'affectation des terres. L'objectif premier vise à minimiser les risques de conflits entre les usages incompatibles des terres et des ressources, afin que les opportunités et les synergies soient optimisées en termes (Moussavou G. et Mambela E., 2016):

- de diversification des usages compatibles ;
- de promotion des activités mutuellement avantageuses ;
- d'atténuation du gaspillage de ressources et de réduction des émissions de gaz à effet de serre et autres nuisances environnementales.

Le second objectif complémentaire est la recherche :

- d'un appui sur une large concertation préalable de toutes les parties prenantes, pour construire un mécanisme intersectoriel de coordination et de prise des nouvelles décisions d'affectation, qui sera doté d'un pouvoir d'arbitrage et de résolution des conflits ;
- d'une intégration, de façon équilibrée, des préoccupations de toutes les parties concernées, des ministères sectoriels aux collectivités et aux populations locales, en passant par le secteur privé et la société civile.

Dans ce cadre, le Gouvernement a mis en place une Commission Interministérielle chargée de la réalisation du PNAT (CNAT), qui regroupe l'ensemble des administrations sectorielles (mines, forêt, pétrole, agriculture, économie et investissement, collectivités locales) à un niveau élevé de représentation (Secrétaires Généraux ou Directeurs Généraux d'Administrations). Ce choix du niveau de représentation au sein de la Commission vise à :

- permettre à tous les secteurs concernés par le processus d'affectation des terres de contribuer à cet exercice de planification ;
- répercuter et traduire auprès des secteurs les adaptations nécessaires pour la prise en compte du PNAT dans leur cadre administratif, programmatique, règlementaire et politique ;
- assurer une planification intégrée de l'aménagement du territoire dans le cadre de l'optimisation de l'utilisation des terres.

Le PNAT permettra, entre autres, de clarifier les droits fonciers, grâce à l'exercice de cartographie des terroirs villageois qui sera conduit sur l'ensemble du territoire. Au terme du programme, une Loi qui consacrera la mise en œuvre du PNAT en République Gabonaise et intégrant une révision quinquennale sera proposée au Parlement par le Gouvernement à travers la CNAT. Les orientations et dispositions spécifiques du PNAT seront appliquées sur l'ensemble du territoire, suite au vote d'une Loi au Parlement et à la réalisation de ses textes d'application par le Gouvernement. La révision du PNAT sera réalisée par le Parlement à l'initiative du Gouvernement à travers la CNAT.

L'ensemble des Ministères auront été associés au processus d'élaboration du PNAT à travers la CNAT. Ceci facilitera la prise en compte et la mise en cohérence des données

relatives à tous les secteurs concernés par l'affectation des terres. Par la suite, les plans sectoriels (forêt, agriculture, mines, infrastructures, etc.) devront donc être pleinement compatibles avec le PNAT et feront, en cas de nécessité, l'objet de révisions et/ou mises à jour. Les dispositions d'application et d'articulation au niveau sous-national, ainsi que les responsabilités institutionnelles, seront précisées par la CNAT au cours du programme et formalisées dans le PNAT final et la Loi correspondante.

Concernant le label Ramsar, rappelons que l'inscription d'une zone humide sur la Liste des zones humides d'importance internationale (Site Ramsar) est l'un des divers éléments d'un engagement international à long terme envers sa conservation et son utilisation rationnelle, afin de maintenir ses caractéristiques écologiques ainsi que les avantages et services écosystémiques qu'elle procure.

Le Site du Bas Ogooué demeure le plus grand site Ramsar du Gabon, et le très moins perturbé complexe deltaïque d'Afrique Subsaharienne constitué de nombreux lacs et rivières, le site possède la partie navigable la plus importante du pays. En y incluant le delta, le site abrite d'immenses forêts marécageuses d'eau douce, de mangroves, de vasières et de lidos.

Le Site Ramsar du Bas Ogooué constitue un site majeur pour la conservation de l'ichtyofaune (dont notamment les oiseaux aquatiques) et abrite de nombreuses espèces phares telles que le lamantin, l'hippopotame ou encore l'éléphant. Il accueille également des plantes terrestres rares et endémiques, et possède des valeurs culturelles remarquables renforçant la nécessité d'une gestion durable de ce territoire.

Il est le premier bassin de pêche continentale du Gabon. Ces étendues d'eau constituent des écosystèmes particuliers de par les services environnementaux qu'elles procurent, notamment en ce qui concerne la réduction des Gaz à Effet de Serre (GES) par la fixation du dioxyde de carbone. Ces dernières constituent également de véritables réservoirs piscicoles utiles à la pêche et à l'aquaculture.

Dans les régions comme Lambaréné, où s'est développée une économie autour des ressources naturelles, le Delta de l'Ogooué joue un rôle économique, social culturel et cultuel très important pour les communautés locales. Aussi, son classement comme site

Ramsar, constitue une reconnaissance internationale des actions locales pour la protection de la biodiversité et valorise ceux qui la mènent. Elle traduit la prise de conscience de la valeur unique des zones humides et matérialise un engagement politique sur le long terme en sa faveur. Contrairement à l'inscription au Patrimoine Mondial, le classement à Ramsar ne présente pas d'obligation réglementaire.

Toutefois, le Gabon s'est engagé à maintenir les caractéristiques écologiques du site classé. Pour ce faire, nous proposons un mode de gestion tripartite, repartie entre l'administration décentralisée, l'administration de conservation et la représentation communautaire. En effet, le label Ramsar est une opportunité de pratiquer la conservation autrement. *A contrario* des parcs nationaux où les communautés vivent à l'extérieur des limites, le Site est le lieu de naissance et de vie de plusieurs communautés. A cet égard, il faudrait appliquer le principe de conservation par les communautés elles-mêmes.

Les Maires et les Préfets devraient incarner le pouvoir administratif, en impulsant, sur les aires dont ils ont la charge, la mise en œuvre des nouvelles politiques de conservation et de gestion de l'environnement. D'un commun accord avec l'administration et les communautés, cette politique devrait être propulsée par l'Agence Nationale des Parcs Nationaux (ANPN), autorité et administration de gestion et de protection de l'environnement, à l'intérieur du site. Les Présidents des Conseils Départementaux seraient la représentativité des communautés desquelles on pourrait désigner les chefs de canton comme garants des ressources du territoire sous leurs autorités ; étant entendu que la division des cantons est basée sur les réservoirs hydrologiques de la région. Ce mode de gestion approcherait celui de la France ou du Canada, où l'on a des organismes de gestion par bassin.

L'analyse des zones à haute valeurs de conservation ont permis de mettre en exergue des milieux qui avait déjà désigné comme importants. En effet, elle a fait ressortir des habitats des oiseaux et des mammifères remarquables, mais aussi le couloir qu'emprunte plusieurs d'entre pour rejoindre les marais du Bas Ogooué en quittant la Réserve Présidentielle.

L'étude des affectations a montré que le site Ramsar du Bas Ogooué est couvert à 60 % de diverses affectations de terre à but industriel. Parmi ces affectations, on dénombre les permis forestiers majoritaires, les permis miniers d'exploitation, les concessions agro-industrielles et le permis d'exploitation pétrolière. Devant l'étendue impressionnante des concessions forestières, ces dernières se superposent à tous les autres types d'affectation.

En apparence ces différents sites, qui se superposent les uns aux autres, n'ont pour l'instant, aucun conflit d'usage. Néanmoins, ils se superposent à certaines zones de conservation et à certaines zones dédiées à l'extension urbaine. Ces affectations sont jugées inadéquates et doivent faire l'objet de nouvelles délimitations et de retour au domaine de l'Etat.

Dans l'ensemble, le plan de zonage du site Ramsar du Bas Ogooué se compose de trois grandes zones : les zones centrales, qui correspondent aux zones de conservation., Les pratiques de toutes activités y sont proscrites, voir réservées aux seuls droits autochtones. Tous travaux d'aménagement devraient être interdits, car elles sont garantes du bon fonctionnement de plusieurs processus naturels.

Les zones tampons correspondent à toutes les autres zones humides alentours, les zones réservées aux infrastructures urbaines et touristiques, les forêts communautaires et les terroirs villageois à affiner avec une activité de cartographie participative. Ces zones sont réglementées de manière à réduire l'empreinte de l'homme sur l'environnement. ;

Les zones de transition correspondent aux zones faisant l'objet d'affectations industrielles. Elles sont aux limites du site et constituent la première enveloppe du noyau. Les exploitants devraient adoptés, au mieux, les méthodes d'exploitation les plus respectueuses de l'environnement.

Enfin, nous avons suggéré un mode de gestion participative du site, afin d'impliquer toutes les forces dans le processus de gestion durable. Devront y être parties prenantes : le pouvoir politico-administratif pour impulser les politiques de gestion, l'ANPN comme autorité de gestion et de protection de l'environnement et les communautés comme les premiers responsables de leur propre patrimoine.

## CONCLUSION GENERALE

Le site Ramsar du Bas Ogooué se situe dans le bassin sédimentaire côtier gabonais. Il est traversé de part et d'autre par des cours d'eau dont le principal est le fleuve Ogooué, réceptacle de toutes les eaux courantes de la région. Espace hérité du retrait des eaux de l'océan Atlantique, l'histoire géologique du complexe deltaïque du Bas Ogooué repose sur deux phases essentielles, dont la mise en place du "plancher" du bassin côtier et la mise en place des alluvions récentes, il y a 6000 ans. Dans le détail, le site Ramsar Bas Ogooué est divisé en deux par le horst de Lambaréné, mettant ainsi, en évidence un bassin intérieur, correspondant à un synclinal faillé avec des dépôts épais continentaux et un bassin atlantique, avec des dépôts à dominante marine.

Du fait, de son histoire sédimentaire et des multiples affluents venant de toutes les zones climatiques du pays, l'Ogooué est le fleuve le plus complexe du Gabon. Dans cette région, le climat équatorial de transition de la zone centrale et la mosaïque de végétation humide et de terre ferme permettent au site d'abriter une faune exceptionnelle, à l'instar des mammifères aquatiques et de nombreux oiseaux d'eau.

Le Site Ramsar du Bas Ogooué est la plus grande zone humide d'importance internationale du Gabon. Situé majoritairement dans la province du Moyen-Ogooué, le site Ramsar du Bas Ogooué compte 60 809 habitants résidant principalement dans les villes de Lambaréné, Ndjolé et 166 villages répartis dans 10 cantons. Ces populations vivent de toutes activités coutumières, dont la pêche, majoritairement. Elles exploitent les riches ressources naturelles du site à différentes fins et parfois de façon incontrôlée, au péril des écosystèmes. Cela a nécessité, par exemple en 2019, la mise en place de deux postes de surveillance à Aschouka et Nengué Ntogolo pour intensifier la lutte anti-braconnage. Toutefois, en dépit des campagnes de sensibilisation menées par les ONG, la pression sur la ressource demeure encore prononcée. Par ailleurs, les centres urbains, en particulier Ndjolé et Lambaréné, constituent de gros foyers de pollution qui sont liées aux déchets ménagers ou aux activités industrielles.

En effet, concernant les activités industrielles, le site Ramsar du Bas Ogooué est couvert à 60 % de diverses affectations. Parmi celles-ci, on note majoritairement les permis forestiers puis les permis miniers d'exploitation, les concessions agro-

industrielles et le permis d'exploitation pétrolière. De fait, l'ensemble de ces divers acteurs est aujourd'hui à l'origine d'une détérioration progressive de la qualité de l'eau, privant ainsi les populations riveraines de la satisfaction de leurs besoins élémentaires.

Or, s'il n'existe aucune loi locale encadrant les sites Ramsar, encore moins une mention renvoyant à ces derniers dans le code forestier, le site Ramsar Bas Ogooué demeure, tout de même, une zone humide d'importance internationale, gérée par l'administration des Eaux et Forêt. Compte tenu de la présence de nombreux acteurs,-de leurs intérêts divergents, voir préoccupants, les différentes affectations et usages devraient être pris en compte dans le processus de gestion durable du site.

Il reste à déplorer que jusqu'à présent le plus important site Ramsar du Gabon ne dispose d'aucun plan de gestion en vigueur. C'est la raison pour laquelle cette recherche doctorale, s'appuyant sur les procédés des SIG et de la télédétection, tente de poser les jalons d'une gestion durable de ce site en faisant l'inventaire des compositions spatiales, l'étude des fonctions des zones humides et en proposant un plan de zonage durable du site.

Cette problématique est d'actualité vu qu'elle cadre avec les engagements pris par le Gabon lors de la ratification de la convention Ramsar. C'est-à-dire la rédaction d'un plan de gestion garantissant la conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides, tout en mettant en œuvre des actions locales en tant que contribution à la réalisation du développement durable dans le monde entier.

Depuis quelques années la Géomatique tend à s'imposer dans la plupart des études en Géographie physique. Cette étude n'est pas en reste, vu qu'elle parvient à démontrer la potentialité des outils de collecte, de traitement et d'analyse spatiale à créer des supports cartographiques exploitable pour le zonage d'un site Ramsar.

La première difficulté a été de délimiter la zone humide principale du site, car la présence des zones humides est conditionnée par les caractéristiques géomorphologiques et géologiques d'une région. Néanmoins ces milieux sont structurés par l'hydrodynamique, qui contrôle leur fonctionnement et leur dynamique. Les flux d'eau, les niveaux d'eau et leurs périodicités révèlent les conditions d'hydromorphie du

sol et les réponses des organismes vivants, en particulier de la végétation. Par conséquent, il a fallu prendre en compte les aspects ou facteurs liés aux variations temporelles.

Rappelons qu'un site Ramsar est un milieu dont on reconnaît l'importance écologique, socio-économique et environnemental d'une zone humide incluse. Par conséquent un site Ramsar n'est pas qu'une zone humide, mais un espace hétérogène comprenant aussi bien les espaces humides que ceux qui ne le sont pas.

Ainsi le site du Bas Ogooué est dominé par les forêts de terre ferme, qui occupent 67% de son territoire. Les habitats humides, présents majoritairement, au centre du site occupent les 3 rangs suivants après la forêt dense. Différentes méthodes de cartographie et de télédétection existent pour caractériser, au mieux, les éléments constitutifs des milieux humides. Aujourd'hui la cartographie numérique est le principal outil de modélisation de ces milieux, avec l'ensemble de ces méthodes dites de la géomatique. Le réseau hydrologique, eau linéaire et masse d'eau, a été déduit à partir des images satellites.

Le réseau hydrologique a été généré à partir d'un modèle numérique de surface de 12,5 mètres de résolution. Ce réseau hydrographique est plus dense que celui de l'Institut National de Cartographie (INC) et assez représentatif de la réalité. Néanmoins, les cours d'eau d'ordre 1 sont les moins fiables, notamment la section qui s'avère être la source et son premier linéaire.

Il convient de retenir que l'ensemble des cours d'eau générés sur le Bas Ogooué s'étend sur une longueur totale de 26 888 km et trois grands types d'organisation de chenaux des rivières peuvent être distingués :

- le chenal unique, en amont de tous les cours d'eau ;
- les chenaux méandriformes, dans les cours inférieurs à faible pente longitudinale où les eaux ont une vitesse réduite et une faible et fine charge sédimentaire ;
- les chenaux anastomosés, la partie du fleuve située dans la région à faible pente de la plaine deltaïque supérieure.

La majorité du réseau de drainage est dendritique, excepté certains écoulements rectangulaires observés dans les parties accidentées du site, aux extrémités nord. Le fleuve Ogooué et la rivière Oréga présentent les bassins versants les plus étendus (avec

plus de 3 000 km$^2$). La multitude de bras anastomosés entre l'Ogooué et l'Oréga dans le delta supérieur rend fastidieux la délimitation de ces deux bassins versants.

L'analyse des cours d'eau dans l'environnement a permis de déterminer les zones où les stratégies de protection et de gestion doivent être priorisées. En effet, sur l'ensemble du réseau existe une frange qui se trouve dans les principaux milieux anthropisés (plantations industrielles, villes). Ces milieux sont susceptibles d'être des vecteurs de contamination des eaux, à cause des intrants agricoles et des effluents des ménages.

Les eaux surfaciques ont été extraites des images Sentinel 2, avec 10 bandes spectrales, adoubées d'un indice de végétation (NDVI) et de deux indices d'eau (NDWI 1 et 2). L'analyse de l'occupation du sol a permis d'obtenir deux types de données. Outre l'actualisation des eaux surfaciques, nous avons pu ressortir trois autres classes d'occupation du sol (marais, forêts marécageuses ouvertes et fermées), desquelles nous avons pu extraire les habitats à caractère humide.

En complément des informations fournies par l'occupation du sol et le réseau hydrologique, la méthode multi-scalaire a permis de délimiter les zones humides à un niveau supérieur, en intégrant les éléments géomorphologiques, géologiques et de dynamique spatio-temporelle. Ces informations permettent de délimiter la zone géographique, dans son acceptation la plus large, ou la zone humide théorique.

A l'aide de l'analyse des unités hydrogéomorphologiques, des 18 descripteurs, issus de notre base de données cartographiques et des produits dérivés de la carte d'occupation du sol, nous sommes parvenus à identifier les zones humides fonctionnelles sur l'ensemble de la grande zone humide qu'est le site Ramsar du Bas Ogooué. Nous avons évalué les fonctions de dénitrification potentielle, d'habitat potentiel, d'écrêtage de crue et de soutien aux étiages.

Concernant la fonction écrêtage de crue, la majorité des zones humides (50 %) a un intérêt moyen et 49 %, un intérêt faible. Seulement 1 % des zones humides a un intérêt fort vis-à-vis de cette fonction. Cette étude montre un potentiel élevé sur les marais de Ebel Abanga, Azingo, Alombiè et sur les tributaires des lacs Onangué et Anengué. Cependant, au sein des secteurs précédemment cités, certaines unités

hydrogéomorphologiques (HGMU) correspondant parfois à des bourrelets ont un potentiel d'écrêtage de crue plus faible.

Le potentiel de soutien à l'étiage est relativement moyen sur l'ensemble des zones humides, avec 26 % de la superficie des zones humides ayant un intérêt faible. Cependant, quelques unités hydrogéomorphologiques présentent un intérêt plus fort, en particulier sur les plaines alluviales des grands lacs et de l'Ogooué, au sud de Lambaréné.

Le potentiel de dénitrification est globalement très fort à fort sur l'ensemble des zones humides. Près des deux tiers de la superficie des zones humides (70 %) a un intérêt fort à très fort. Quasiment aucun secteur ne présente un intérêt faible à très faible, et 29 % ont un intérêt moyen.

Le potentiel d'habitats pour les espèces des milieux humides est essentiellement moyen (60 %). Il est cependant fort sur les marais de Deguelié, d'Ebel Abanga, de l'Ogooué, ainsi que pour les régions des grands lacs (excepté Azingo). D'autres secteurs tels que l'amont de la Mbiné ou du tributaire du lac Azingo semblent présenter un intérêt fort pour cette fonction, bien qu'ils soient moins ou pas du tout étudiés, comme en témoignent les points GPS des espèces de faune répertoriées.

Pour définir les zones de conservation, nous avons adjoint à ses quatre fonctions, les valeurs et les services fournis par la zone d'étude. Au total, neuf zones humides centrales ou à haute valeur de conservation ont été délimitées et représentent une superficie totale de 1 539 $km^2$, soit 30,19 % de l'ensemble des zones humides du site et 8,8 % de la totalité du Site.

Les concessions forestières, occupent près de 60% de l'étendue du site. Cette importante étendue occasionne plusieurs superpositions avec les autres affectations de terre. Tous les permis miniers et pétroliers sont confondus aux permis forestiers, de même, une partie de la plantation de Zilé se trouve dans un permis forestier.

Néanmoins, la Commission Nationale d'Affectation des Terres, organe désigné pour la gestion des conflits d'affectation, n'a, à ce jour, enregistré aucune plainte formulée par l'un des opérateurs de la zone. Cependant, quelques affectations semblent inadéquates par rapport à certaines zones dédiées à la conservation et à l'extension

urbaine. Ces quelques affectations devraient faire l'objet de nouvelles délimitations ou de retour au domaine de l'Etat.

Dans l'ensemble, le plan de zonage du site Ramsar du Bas Ogooué se compose de trois grandes zones : les zones centrales, qui correspondent aux zones de conservation, dont la pratique de toutes activités est proscrite, voire réservée aux seuls droits autochtones. Tous travaux d'aménagement devraient être interdits, car ces zones de conservation sont garantes du bon fonctionnement de plusieurs processus naturels.

Les zones tampons correspondent à toutes les autres zones humides alentours. Il s'agit de zones réservées aux infrastructures urbaines et touristiques, aux forêts communautaires et aux terroirs villageois qui méritent d'être affinées avec une activité de cartographie participative. Ces zones sont réglementées de manière à réduire l'empreinte de l'homme sur l'environnement.

Les zones de transition correspondent à celles faisant l'objet d'affectation industrielle. Elles sont aux limites du site et constitue une première enveloppe du noyau. Les exploitants devraient adopter, au mieux, les méthodes d'exploitation les plus respectueuses de l'environnement.

Enfin, cette étude suggère un mode de gestion participative du site, afin d'impliquer tous les acteurs dans le processus de gestion durable : le pouvoir politico-administratif pour impulser les politiques de gestion, l'Agence Nationale des Parcs Nationaux comme autorité de gestion et de protection de l'environnement et les communautés comme les premiers responsables de leur propre patrimoine.

Les résultats de cette étude sont inédits au Gabon et dans la sous-région. Ils formalisent un modèle d'aménagement intégré qui permet d'orienter les priorités de gestion, à travers la localisation des sites les plus intéressants d'un point de vue fonctionnel, mais aussi ceux qui présentent des lieux de pressions sur les ressources ou l'environnement.

Toutefois, les techniques de cartographie et de télédétection, même les plus fines, nécessitent toujours, à minima, de corrections assistées, à maxima, et des vérifications *in situ*. Aussi cette étude aurait été plus complète, si nous avions pu effectuer des analyses physico-chimiques des eaux, notamment pour attester de la composition chimique des

eaux noires, mais également pour renseigner sur la qualité physico-chimique des potentiels points de pression.

En plus d'une étude participative, plus fine sur les zones de conservation, afin d'en définir clairement les modes d'usage et de protection par zone, nous mettons également en perspectives l'analyse physico-chimique des eaux, en particulier les eaux noires forestières et les eaux potentiellement polluées ou proche des zones de industrielles. Cette étude ayant fourni un premier diagnostic des territoires d'eau, ces relevés sur le terrain pourrait permettre à alimenter des modèles hydrologiques importants pour les futurs aménagements et la gestion du site.

Aussi, il est important de repenser nos modèles de conservation. En effet, le modèle actuel est un véritable hymne au naturel, nonobstant l'usage de certains droits coutumiers. Comment gérer durablement les aires protégées sous le prisme de la seule conservation de la biodiversité, quand les moyens de subsistance et le bien-être de ceux qui vivent dans et à proximité de ces espaces protégés sont remis en question ? Pourtant les communautés locales et autochtones ont été toujours garantes de leurs patrimoines naturels avant l'industrialisation. Dans une étique de justice sociale et environnementale l'Etat devrait parvenir à les inclure au centre de la préservation de leurs milieux en leur donnant un cadre pour leur garantir un niveau de vie décent et réduire les conflits avec la faune.

Il faudrait faire bouger les lignes pour un meilleur équilibre entre biodiversité et développement, interdépendants l'un de l'autre. La participation des acteurs locaux ne doit plus être de façade, mais remise au cœur des processus collectifs de décision et de gestion d'espaces de conservation.

A côté des peuples locaux et autochtones, la croissance urbaines et l'industrialisation sont des réalités avec lesquelles plusieurs aires protégées devront composer. C'est d'ailleurs le cas des sites comme Akanda ou l'arboretum Raponda Walker. Développer des espaces urbains présente donc de nombreux défis, notamment en lien avec les télécommunications, la gestion de l'eau, des déchets et des énergies, la construction et l'habitat, la qualité de l'air, etc.

En dépit de son réseau des parcs nationaux qui couvrent 11% de son territoire, le Gabon a souscrit aux objectifs 30*30 et envisage, de ce fait, d'étendre la superficie de ses parcs nationaux. Bien que le Gabon soit couvert à 88% de forêt, cette forêt regorge de plusieurs acteurs, tels que les communautés villageoises et les industriels. Comment composer avec ces différents acteurs lorsqu'on connaît les difficultés que l'ANPN rencontrent, actuellement, avec les communautés qui revendiquent des terres à l'intérieurs des aires protégées ?

En plus, des communautés et des industriels, il faudrait aussi prendre en compte les phénomènes d'extension des villes qui sont à proximité ou incluses dans les aires protégées. En effet, à l'heure où ces villes tendent à s'agrandir à l'intérieur ou en direction de ces espaces protégées, Comment penser la ville durable de façon à répondre aux différents enjeux sociétaux et de développement durable ?

Voici deux perspectives mises en parallèle dans cette thèse, celle de l'intégration des hommes dans les processus de conservation et la prise en compte des écosystèmes et les logiques de préservation de la nature dans l'aménagement des villes de demain et la restructuration des villes actuelles. Au-delà de la méthodologie que propose cette thèse, l'atteinte de cette objectif passe nécessairement par l'usage de nombreux moyens de communication et de sensibilisation.

# BIBLIOGRAPHIE

## 1. Ouvrages, rapports et divers


- Agence Béninoise de l'Environnement (AGB), *Plan de gestion du site Ramsar transfrontalier du Chenal Gbaga dans le bassin du Mono entre le Bénin et le Togo et son projet de mise en œuvre*, version finale, Cotonou.
- ADAMUS Paul Raymond, SMITH R. Daniel, YOUNG E. Richard et ELLIS Clairain, 1987, *Wetland Evaluation Technique (WET)*, Volume II, Methodol-ogy, U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.
- Art Gold, 2009, *Document de marketing*, Province du Moyen-Ogooué, PNUD, Libreville.
- BARBIER Edward, ACREMAN Mike et KNOWLER Duncan, 1997, *Évaluation économique des zones humides*, *Guide à l'usage des décideurs et planificateurs*, Bureau de la Convention de Ramsar. Gland.
- BARNAUD Génévième et FUSTEC Eliane, 2007, *Conserver les zones humides : pourquoi ? comment ?*, Éditions Quae, Versailles.
- BEGNI Gérard, ESCADAFAL Richard, FONTANNAZ Delphine, HONG-NGA NGUYEN Anne-Thérèse, 2005, *La télédétection : un outil pour le suivi et l'évaluation de la désertification*. CSFD, Comité Scientifique Français de la Désertification, Agropolis.
- BERNARD Paul, 1994, *Les zones humides, Comité interministériel de l'évaluation des politiques publiques*, Commissariat au Plan, La Documentation Française.
- BORDET Jacques, 2007, *L'eau dans son environnement rural*, Paris, Editions Johanet.
- BOUPOYA Archange et STÉVART Tariq, 2013, *Première étude sur la flore et la végétation de la région du Lac Évaro (Moyen-Ogooué-Gabon)*, Rapport, WCS, Libreville.
- BRINSON Mark, 1993, *A Hydrogeomorphic Classification for Wetlands, Wetlands Research Program Technical Report*, US Army Corps of Engineers, Missouri.
- Canards Illimités Canada et le Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 2019*, Cartographie détaillée des milieux humides du territoire de la plaine du Lac-Saint-Jean*, Rapport technique, Québec.

- CARRÉ Paul, 1978, *Fleuves et rivières du Gabon : Diversité des régimes hydrologiques*, République gabonaise, Centre national de la recherche scientifique et technologique, Section d'études et recherches en hydrologie, Libreville.
- CHATELIN Yvon, 1964, *Les sols du bassin sédimentaires côtier entre Libreville et Lambaréné,* ORSTOM Gabon, Service Pédologie, Libreville.
- CHEVALLIER Luc, MAKANGA Jean Félicien, THOMAS J. Robert, 2002, *Carte géologique de la République Gabonaise à 1/1 000 000 : Notice explicative,* Gabon, Dir. Min. Géol., 195 p., 3 cartes.
- CHRISTY Patrice, 1999, *Les oiseaux d'Afrique centrale : liste faunistique : Cameroun, Congo, Gabon, Guinée équatoriale, République centrafricaine, République démocratique du Congo, São Tomé et Príncipe*, Les dossiers de l'ADIE, n° 1, Série Biodiversité.
- COLLINET Jean et MARTIN Dominique, 1975, *Notice explicative n° 50, Carte pédologique Lambaréné (Gabon) Libreville à 1/200 000, ORSTOM*, Libreville.
- COWARDIN Lewis M., 1979, *Classification of wetlands and deepwater habitats of the United States*, Fish and Wildlife Service, US Dept. of the Interior, Washington, Washigton.
- De GROOT, R. Samuel, 1992, *Functions of Nature: Evaluation of Nature in Environmental Planning, Management and Decision Making*, Wolters-Noordhoff, Groningen.
- Direction Générale de l'Environnement et de la Protection de la Nature (DGEPN) et l'Agence National des Parcs Nationaux (ANPN), 2020, *plan de gestion 2021-2025*, Libreville.
- Direction générale de l'environnement**,** 1999, *Stratégie nationale et plan d'action sur la biodiversité, Rapport, Libreville.*
- DUGAN, Patrick, 1993, *Wetlands in Danger: A World Conservation Atlas*, Mitchell Beazley London Ltd, London.
- ECOSPHERE, 2015, *Fonctions et services des zones humides*. Agence de l'eau RMC, Boîte à outils zones humides, fiche technique, Paris.
- FERMON Yves, 2013, *Caractérisation ichtyologique des bassins versants gabonais*, WWF, Libreville.
- FERMON Yves, 2015*, Caractérisation ichtyologique dans le massif forestier d'Evaro*, WWF Gabon-Aimara, Libreville.

- FRAPPART Frédéric, 2005, *Hydrologie spatiale : Développement d'applications pour l'utilisation de la télédétection sur les grands bassins fluviaux*, Géophysique et Télédétection spatiale, Université Paul Sabatier, Thèse de Doctorat, Toulouse III, HAL Id : tel-00080744, version 1 ⟨tel-00080744⟩
- FRONTIER Serge, PICHOD-VIALE Denise, 1993, *Écosystèmes : structure, fonctionnement*, évolution, Masson, Paris.
- FUSTEC Eliane et LEFEUVRE Jean Claude, 2000, *Fonctions et valeurs des zones humides,* Paris, Dunod.
- GAYET Guillaume, TOUROULT Jean, BARNAUD Génévième, BAPTIST Florence, CAESSTEKER Pierre, CLEMENT Jean Christophe, GAUCHERAND Stéphanie, ISSELIN NONDEDEU Francis, 2016, *Une méthode nationale pour évaluer les fonctions des zones humides dans le cadre de la compensation écologique des impacts,* version 1.0. Fondements théoriques, scientifiques et techniques.
- GEORGE Pierre et VERGER Fernand, 2013, *Dictionnaire de la Géographie*, 9e édition, Paris, Presses universitaires de France.
- HOUENOUNA Dodé Heim Myline, 2015, *Etude de la pression de la pêche artisanale à Mayonami sur le fleuve Nyanga en périphérie du Parc National de Moukalaba-Doudou (PNMD) au Gabon,* Mémoire de Master : Environnement, Alexandrie, Université Senghor.
- HUDELEY Henri et BELMONTE Y., 1970, *Carte géologique de la République Gabonaise au 1/1.000.000 : notice explicative*, Editions BRGM, Mémoire, n° 72, Paris.
- HUDELEY Henri, DADET P., 1971, *Plan minéral Gabonais, Carte géologique et gîtologique simplifiée de la République gabonaise 1/1 000 000*, *interpretation*, John Wiley et Sons Ltd, Oxford, 736 p.
- IPINDA TONGO Boris, 2018, *Evaluation de la vulnérabilité physique et socio-économique du segment côtier sableux de Tahiti à la Sablière face à l'extraction de sable, l'élévation du niveau de la mer et les variations saisonnières des précipitations*, Mémoire de Master, Géographie, Université Omar Bongo, Libreville.
- Julien Bonhome, 2005, *le miroir et le crâne : Parcours initiatique du Bwete Misoko, Chemins de l'ethnologie*, Paris, CNRS.

- LHOMME Serge, 2013, *Introduction à géomatique (Complément de cours*), Université Paris Est-Créteil.

- LILLESAND M. Thomas, KIEFER W. Ralph, CHIPMAN W. Jonathan, 2004, *Remote sensing and image interpretation,* Wiley, Michigan
- LOINTIER M., 1996*, Hydrologie des zones humides tropicales. Apport de l'information spatialisée aux problèmes de gestion intégrée : Applications en Guyane*, Université Pierre & Marie Curie, Thèse de doctorat de Paris VI.
- LYNCH-STEWART Pauline, NEICE Paula, RUBEC Clayton, KESSEL-TAYLOR Ingrid, 1996, *La Politique Fédérale sur la conservation des terres humides : guide de mise en œuvre à l'intention des gestionnaires des terres fédérales,* rapport, Ontario.
- MAGAYA-MIKOLO Francis, et EKOGHA Hugues, 2016, *carte des ressources minérales du Gabon*, 4ème édition.
- MALOBA MAKANGA Jean Damien, 2012, *Cours d'initiation à l'hydrologie continentale et marine*, Libreville, Les éditions du CENAREST.
- MALTBY Edwards, 1986, *Waterlogged wealth: why waste the world's wet places?* London, Russel Press.
- MALTBY Edwards et BARKER Tom, 2009, *The Wetlands Handbook,* Wiley-Blackwell, Oxford.
- MALTBY Edwards, BARKER Tom. et LINSTEAD Conor, 2009, *Development of a European Methodology for the Functional Assessment of Wetland*s, In Maltby E. et Barker T., *The wetlands.* London, Blackwell Publishing.
- MALTBY Edwards, HOGAN Davis V. et MCINNES Robert, 1996, *Functional analyses of European wetland ecosystems*, Rapport Phase I (FAEWE), London, European Commission.
- MALTBY Edwards., 2009, *Functional Assessment of Wetlands: Towards Evaluation of Ecosystem Services*, London, Woodhead Publishing.
- MALTBY Edward, 2009, *Functional assessment of wetlands: Towards evaluation of ecosystem services*, Cambridge: Woodhead Publishing. [Crossref], [Google Scholar]
- NDAO Mariétou, 2012, *Dynamiques et gestion environnementales de 1970 à 2010 des zones humides au Sénégal : étude de l'occupation du sol par télédétection des Niayes avec Djiddah Thiaroye Kao (à Dakar), Mboro (à Thiès et Saint-Louis)*,

Géographie, Thèse de Doctorat, Université Toulouse le Mirail,Toulouse II. ⟨NNT : 2012TOU20018⟩. ⟨tel-00718050⟩

- MARTIN Dominique, CHATELIN Yvon, COLLINET Jean, GUICHARD Edmond, SALA George-Henri, 1981, *les sols du Gabon : pédogénèse, répartition et aptitudes*, note explicative, O.R.S.T.O.M., Libreville.
- MARZOUK Samy et AMSALLEM Jennifer, 2018, *Apport des données en télédétection pour la caractérisation des milieux naturels, semi-naturels et anthropiques dans une démarche d'identification de Trame verte et bleue*, Irstea – UMR TETIS, Centre de ressources Trame verte et bleue.
- MAUREL & PROM, 2022, *Information sur le rétablissement de la production au Gabon*, bulletin d'information N°11-22, Paris.
- MBEGA Jean-Daniel, 2004, *Biodiversité des poissons du bassin inférieur de l'Ogooué (Gabon)*, Volume 1 et Volume 2. Thèse de Doctorat en Sciences Faculté des Sciences. Université de Namur.
- MBOUMBOU MAKANGA Fern Lièle, 2018, *Modifications environnementales dans une zone humide au sud-ouest du Gabon : cas du lac Mandza.* Mémoire de Master, Géographie. Libreville, Université Omar BONGO.
- MCCARTNEY Matthiew P. et ACREMAN Mike C., 2009, «Wetlands and water resources», In Wiebe K. et Gollehon Ne., eds. *Quality Assurance*. Wiley-Blackwell, Oxford, p. 344–376.
- MENGUE M'EDOU Célestine, ONDAMBA OMBANDA Faustin, NDJOKOUNDA Come, MOUNGANGA Magloir-Désiré, BAYANI Emmanuel, MIKALA Rufin, 2008, *Site Ramsar Bas Ogooué*, Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar, version 2006-2008, Libreville. http://www.ramsar.org/ris/key_ris_index.htm
- MERAL Philippe, PESCHE Denis, 2016, *Les services écosystémiques : repenser les relations nature et société*, Versailles, Éditions Quæ.
- MEROT, P, 2000, *TY-FON* : *Typologie fonctionnelle des zones humides de fonds de vallée en vue de la régulation de la pollution diffuse (PNZRH)*, rapport de synthèse final, Rennes.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA), 2005, *Ecosystem Wealth and Human Well-Being*, Island Press.

- Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010, *Les zones humides* : *Un enjeu national Bilan de 15 ans de politiques publiques*, Canada.
- MITSCH, Williams J. ET GOSSELINK, James G., 2007, *Wetlands* 4th ed., Wiley, Oxford.
- Ramsar & UNESCO, 2012, *Les zones humides protègent L'eau*, 2ème journée mondiale des zones humides, Suisse.
- Ramsar, 2010, *Gestion des zones humides : Cadres pour la gestion des zones humides d'importance internationale et autres zones humides.* Manuels Ramsar pour l'utilisation rationnelle des zones humides, 4e édition, vol. 18. Secrétariat de la Convention de Ramsar, Gland, Suisse.
- Ramsar, 2013, *Le Manuel de la Convention de Ramsar: Guide de la Convention sur les zones humides (Ramsar, Iran, 1971),* 6e édition, Secrétariat de la Convention de Ramsar, Gland.
- Ramsar, 2015, *Note d'information 7*, Secrétariat de la Convention Ramsar, Gland.
- Ramsar, 2016, *An Introduction to the Ramsar Convention on Wetlands, 7th ed. (previously The Ramsar Convention Manual),* Ramsar Convention Secretariat, Gland, 110 p.
- Ramsar, 2018, *Perspectives mondiales des zones humides : L'état mondial des zones humides et de leurs services à l'humanité 2018,* Secrétariat de la Convention de Ramsar, Gland.
- Ramsar, 2020, Gabon, Bas Ogooué, Formulaire FDR créé par le SISR V.1.6 - 18 mai 2020
- RAPINEL Sébastien, 2012, *Contribution de la télédétection à l'évaluation fonctionnelle des zones humides : de l'observation à la modélisation prospective,* Thèse de Doctorat, Géographie, Université Rennes 2, Rennes.
- RAPONDA-WALKER André. & SILLANS Roger, 1961, *Les plantes utiles du Gabon,* Paul Lechevalier, Paris.
- République gabonaise, Ministère Travaux Publics, 1962, *Prospection hydro-électrique générale des bassins de l'Ogooué et de la Nyanga*, Rapport intérimaire, Premier campagne d'études 1961, Electricité de France, IGECO 1962.

- République gabonaise, Ministère Travaux Publics, 1966, *Prospection hydro-électrique générale des bassins de l'Ogooué et de la Nyanga*, Rapport général, Electricité de France, Inspection Générale pour la Coopération Hors-Métropole.
- SAINT VIL Jean, 1977, « Les climats du Gabon », in : *Annales de l'Université Nationale du Gabon* (UNG), Faculté des lettres et des sciences humaines de Libreville (eds), n° 1, p. 101-125.
- SAJALOLI Bertrand, 1996, « Les zones humides : une nouvelle vitrine pour l'environnement (Wetlands : a new showcase for environment) », in: *Bulletin de l'Association de géographes français*, 73e année, -2 (mars). La population du monde /Surfaces en eau et zones humides. pp. 132-144.
- SALBITANO Fabiano, BORELLI Simone, CONIGLIARO Michela et CHEN Yujuan, 2017, *Directives sur la foresterie urbaine et périurbaine*, Études FAO: Forêts no. 178, Rome, FAO.
- SCHEPERS Frans J. et MARTEIJN Eric C. L. (eds.), 1992, *Coastal waterbirds in Gabon, Winter 1992*, Foundation Working Group International Wader and Waterfowl Research (WIWO), Report Nr. 41, (Résumé en français de P. CHRISTY, p. 15-31).
- SCHNEBELEN Nathalie et LAROCHE Bertrand, 2013, *Guide pour l'identification et la délimitation des sols de zones humides,* Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, Groupement d'Intérêt Scientifique Sol, Orléans.
- SEDRETTE Slimene, 2017, *Extraction semi-automatique des linéaments et des indicateurs morphométriques dans un environnement SIG pour la caractérisation morphostructurale et néotectonique de la région de Nefza dans le Nord-Ouest de la Tunisie*, Géologie, Thèse de doctorat, Université de Tunis El Manar, Tunis.99.
- SKINNER Jamie, BEAUMOND N., et PIROT Jean-Yves., 1994, *Manuel de formation à la gestion des zones humides tropicales*, UICN, Gland, Suisse, 292 pp.
- SLEIMI Talha, 2018, *Étude du potentiel de l'imagerie historique Landsat pour la délimitation des cotes des crues de référence : cas de la rivière Petite Nation*, Mémoire, Québec, Université du Québec, Institut national de la recherche scientifique, Maîtrise en sciences de l'eau.
- SOMDA J. & AWAÏS A., 2013, *Evaluation économique des fonctions et services écologiques des écosystèmes naturels : Guide de méthodes simples*, Ouagadougou.

- SOSEF Marc Simon Maria, WIERINGA Jan J., JONGKIND Carel Christiaan Hugo, ACHOUNDONG Gaston, AZIZET ISSEMBE Yves, BEDIGIAN Dorothea et *al*, 2004, *Check-list des plantes vasculaires du Gabon/Checklist of Gabonese vascular plants.* Meise, Jardin Botanique National de Belgique KUSLER J.
- STÉVART Tariq, BARBIER Nicolas, BIDAULT Ehoarn, BOUPOYA Archange, VIENNOIS Gaëlle, LACHENAUD Olivier et TEILLIER Laurent, 2015, *Projet de caractérisation de la végétation du Massif Forestier d'Evaro*, Rapport final de l'inventaire multiressources relative aux résultats botaniques, Libreville.
- Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO), 2021, *Les Directives techniques pour les réserves de biosphère, document de programme et de réunion*, Paris.
- Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN), 2013, *Rapport annuel de l'UICN*, Gland.
- Union Internationale pour la Conservation de la nature (UICN), 2012, *Panorama des services écologiques fournis par les milieux naturels en France*, contexte et enjeux, volume 1, Paris.
- Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN), 2010, *Défis écosystémiques*, Burkina-Faso, Ouagadougou.
- VANDE WEGHE Jean Pierre & STEVART Tariq, 2017, *Le delta de l'Ogooué*, Agence Nationale des Parcs Nationaux, Libreville.
- VANDE WEGHE Jean Pierre, 2007, *Les Parcs Nationaux du Gabon : Loango, Mayumba et le bas Ogooué*, WCS Gabon, Libreville.
- VARIN Mathieu, 2021, *Analyse de l'efficacité de l'indice d'humidité topographique (TWI) à cartographier les milieux humides*, Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO). Rapport, Québec.
- WILLIAMS Michael, 1990, *Wetlands, a threatened landscape*, Blackwell Publishers, Oxford.


## 2. Articles


- ACREMAN C. MIKE et MCCARTNEY P. Matthew, 2009, «Hydrological Impacts in and around wetlands», In Maltby E. ET Barker T., *The wetlands handbook*, Wiley-Blackwell, Oxford, p.643-666.

- ADAMUS Paul, CLAIRAIN, Ellis, MORROW, Mike & ROZAS Lawrence, 1991, «Wetlands Evaluation Technique (WET) », *Advances in Water Resources*, 30(8), p.1831–1843.
- BARNAUD Génévième, et MERNET Laurent, 1997, «Les systèmes de caractérisation des zones humides : construire l'expertise sous pression politique », *Natures Sciences Sociétés*, EDP Sciences, 1997, 5 (2), p.31-40. ⟨10.1016/S1240-1307(97)86197-3⟩. ⟨hal-02964238⟩
- BIDAULT Ehoarn, LACHENAUD Olivier & STEVART Tariq, 2017, « La flore », Pp. 143–171 in STÉVART Tariq & VANDE WEGHE Jean Pierre (éds.), *Le delta de l'Ogooué*, ANPN, Libreville.
- CHALIFOUX Stéphane, NASTEV Miroslav, LAMONTAGNE Charles, LATIFOVIC Rasim, FERNANDES Richard, 2006, « Cartographie de l'occupation et de l'utilisation du sol par imagerie satellitaire Landsat en hydrogéologie », *Télédétection*, 2006, Vol. 6, n° 1, p. 9-17.
- CHEN Jian, YANG Shengtian, LI Hongwei & ZHANG Bin & LV Junrong, 2013, «Research on Geographical Environment Unit Division Based on the Method of Natural Breaks (Jenks)», International Archives of the photogrammetry, *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol.4(3), p. 47-50. 10.5194/isprsarchives-XL-4-W3-47-2013.
- CHEN Kepin, BLONG Russel James & JACOBSON Carole, 2001, «MCE-RISK: integrating multicriteria evaluation and GIS for risk decision-making in natural hazards», *Environmental Modelling et Software*, 16(4), p. 387–397.
- DENEKE, F. Christophe, 1993, «Urban Forestry in North America : Towards a Global Ecosystem Perspective», p. 4-8, in Blouin, G. et Comeau, R. (éditeurs), *Compte rendu de la 1re Conférence canadienne sur la forêt urbaine*, du 30 mai au 2 juin 1993,s Winnipeg.
- DURAND Patrick., Gascuel-Odoux Chantal, Kao Cyril et Merot Philippe, 2000, «Une typologie des petites zones humides ripariennes», *Etude et Gestion des Sols*, vol. 7(3), p.207–218.
- FENESSY M. Siobhan, JACOBS D. Amy, KENTULA E. Mary, 2007, «An évaluation of rapid methods for assessing the ecological condition of wetlands», *Wetlands*, Vol. 27, n°3, p. 543-560. DOI : 10.1672/0277-5212(2007)27[543:AEORMF]2.0.CO;2

- FRANCEZ André Jean, 2000, «La dynamique du carbone dans les tourbières à Sphagnum, de la sphaigne à l'effet de serre», *L'Année biologique*, 39(4), p. 205–270.
- FRAPPART Frédéric, CALMANT Stéphane, CAUHOPE Mathilde, SEYLER Frédérique, CAZENAVE Anny, 2006, «Preliminary results of ENVISAT RA-2-derived water levels validation over the Amazon basin», *Remote sensing of Environment,* vol. 100 (2), p.252 264. ⟨10.1016/j.rse.2005.10.027⟩. ⟨hal-00280286⟩
- GAO Bo-Cai., 1996, «NDWI A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space», *Remote Sensing of Environment*, vol. 58(3). P 257-266. 10.1016/S0034-4257(96)00067-3.
- GEORGE Frederic Jenks, 1967, «The Data Model Concept in Statistical Mapping», *International Yearbook of Cartography»,* vol. 7, p. 186-190.
- GIRESSE Pierre, KOUYOUMANTZAKIS Georges & MOGUEDET Gérard, 1977, « La fin de la Transgression Holocène sur les Littoraux Atlantiques d'Afrique Equatoriale et Australe (Gabon, Congo, Angola, São Tomé, Annobon) », Rôles Eustatiques et Néotectoniques, *Association Sénégalaise pour l'Etude du Quaternaire de l'Ouest Africain, Bulletin de liaison*, vol. 50, p.59–82.
- GOPAL Bejawada, 2009, «Biodiversity in wetlands», In Maltby E. ET Barker T., *The wetlands handbook*, Wiley-Blackwell, Oxford, p. 65–95.
- GRAMOND Delphine, 2013, «Requalifier les zones humides continentales : Logiques et paradoxes », *Géocarrefour*, Géocarrefour, vol. 88 (4), p. 247-256. DOI : https://doi.org/10.4000/geocarrefour.9270
- GRAMOND Delphine, SAVY Benoît, GRAFFOUILLERE Matthieu et BARTOUT Pascal, 2005, « Méthodologies de délimitation des zones humides : de l'image satellitale à l'analyse terrain (Methodology of wetlands delimitation : from sensed data to field works) », *Bulletin de l'Association des Géographes Français,* vol. 82(2), p. 246-255.
- HAUG Emile, 1903, « Le bas Ogooué : Notice géographique et ethnographique », *Annales de Géographie*, 12(62), 159-171. DOI : https://doi.org/10.3406/geo.1903.6305 www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_1903_num_12_62_6305
- HOWARD Arthur David, 1967, «Drainage analysis in geologic interpretation: a summation», *Bull. Am. Ass. Petr. Geol*., Tulsa, 51, p. 2246-3428.

- IRD, 2021, *Hydrologie spatiale : l'eau sous l'œil des satellites*, en ligne, page consultée le 14/09/2021 https://lemag.ird.fr/fr/hydrologie-spatiale-leau-sous-loeil-des-satellites
- LOVECCHIO Juan, ROHAIS Sébastien, JOSEPH Philippe, BOLATTI Nestor et RAMOS Victor, 2020, «Mesozoic rifting evolution of SW Gondwana: A poly-phased, subduction-related, extensional history responsible for basin formation along the Argentinean Atlantic margin», *Earth-Science Reviews*, vol. 203, 27 p. 10.1016/j.earscirev.2020.103138.
- MAHE Gil, LERIQUE Jacques et OLIVRY Jean Claude, 1990, « Fleuve Ogooué au Gabon Reconstitution des débits manquants et mise en évidence de variations climatiques à l'équateur », Hydrologie continentale, vol. 5, no 2, 1990 : 105-124.
- MALTBY Edward, MOCKLER Nicole & McINNES Roderick, 1996, «Denitrification rates in river marginal wetlands and buffer zone management», In Merot et Jigorel, éds. Les colloques, Hydrologie dans les pays celtiques. INRA, Paris, p. 293–303.
- MALTBY Edwards, 2009, «The changing wetland paradigm», *In The wetland handbook*, Edited by: Maltby, E. and Barker, p. 3–42. Oxford: Wiley. [Crossref], [Google Scholar]
- MBINA MOUNGUENGUI Michel, BAUDIN François, LANG Jacques, JOCKTANE Olivier, 2003, «Paléoenvironnements et caractérisation des roches mères pétrolières des séries pré-salifères du bassin intérieur du Gabon », *Comptes Rendus Geoscience*, Volume 335, (3), pp. 327-334, https://doi.org/10.1016/S1631-0713(03)00051-8.
- MENARD Sylvain, DARVEAU Marcel, IMBEAU Louis, 2007, « Histoire de la classification des milieux humides au Québec », *le naturaliste canadien*, vol. 131(2), p 85-90.
- MEROT Philippe, SQUIVIDANT Hervé, AUROUSSEAU Pierre, HEFTING Mariett, BURT Tim., MAITRE Véronique, KRUK Marek, BATTURINI Andréa, THENAIL Claudine et VIAUD Valérie, 2003, « Testing a climato-topographic index for predicting wetlands distribution along an European climate gradient », Ecological *modelling*, *163*(1-2), p.51-71.
- MEROT Philippe, HUBERT-MOY Laurence, GASCUEL-ODOUX Chantal, CLÉMENT Bernard, DURAND Patrick, BAUDRY Jacques et THENAIL Claudine, 2006, « A

Method for Improving the Management of Controversial Wetland », *Environmental Management*, 37(2), p. 258–270.

- MEZUI Emérancienne, BOUMONO MOUKOUMI Victor, 2013, « Le bassin de l'Ogooué : caractéristiques et importance », *Conférence internationale GEOS*, 3-5 février 2013, 23 p.
- MURDOCH Piedad del Soccoro, BARON Jill S. ET MILLER, Timothy L., 2000, «Potential effects of climate change on surface-water quality in north America», *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 36(2), p. 347–366.
- PASSUELLO Ana, CADIACH Oda, PEREZ Yolande & SCHUHMACHER Marta, 2012, «A spatial multicriteria decision making tool to define the best agricultural areas for sewage sludge amendment», *Environment International*, 38(1), p. 1-9.
- PONTIUS Robert Gilmore, 2000, «Quantification Error Versus Location Error in Comparison of Categorical Map», *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 66(8), p.1011–1016.
- RAPINEL Sébastien, CLEMENT Bernard, HUBERT-MOY Laurence, 2019, « Cartographie des zones humides par télédétection : approche multi-scalaire pour une planification environnementale ». *Cybergeo*. DOI: 10.4000/cybergeo.31606
- RAPINEL Sebastien, MONY Cendrine, LECOQ Lucie, CLEMENT Bernard, THOMAS Alban, HUBERT-MOY Laurence, 2019, « Evaluation of Sentinel-2 time-series for mapping floodplain grassland plant communities », *Remote sensing of environment,* vol 223, p. 115-129
- MOUMBONGOYO Rivel, 2017, « Les lacs du Bas Ogooué, potentialités touristiques et difficultés de promotion », *Eau et Tourisme - Water and Tourism*, Institut de géographie et durabilité (IGD) de l'Université de Lausanne, Suisse, Institut Tourisme de la HES-SO Valais-Wallis, Suisse, Nov 2017, Sion/Sierre (Valais), Suisse. ⟨hal-02161923⟩
- SANDERS Brett F., 2007, *Évaluation of on-line DEMs for flood inundation modeling*, *Advances in Water Resources*. 30. 1831-1843. 10.1016/j.advwatres.2007.02.005.
- DUVAIL Stéphanie, MEDARD Claire, PAUL Jean-Luc, 2010, « Les communautés locales face aux grands projets d'aménagement des zones humides côtières en Afrique de l'Est », *Politique africaine*, Karthala, p.149-172. ⟨halshs-00705099⟩

- TURNER, R. Kerry, 1992, « Défaillances des politiques dans la gestion des zones humides », In OCDE (ed), *Les défaillances du marché et des gouvernements dans la gestion de l'environnement, Les zones humides et les forêts*. Paris, p.9-47.
- VACQUIE Laure, HOUET Thomas, 2012, « Détection et caractérisation des zones humides de montagnes par télédétection : évaluation de l'apport de la Très Haute Résolution Spatiale », *Revue Internationale de Géomatique*, Lavoisier, vol.22(4), p. 497-518. ⟨hal-01790204⟩
- VIAUD Valérie, DURAND Patrick, MÉROT Philippe, SAUBOUA Emmanuelle & SAADI Zakaria, 2005, «Modeling the impact of the spatial structure of a hedge network on the hydrology of a small catchment in a temperate climate», *Agricultural Water Management*, vol 74(2), p. 135–163.
- Worbes, Martin, 1997, «The Forest Ecosystem of the Floodplains», In: Junk, W.J. (eds) The Central Amazon Floodplain, Ecological Studies, vol. 126, pp 223-265. https://doi.org/10.1007/978-3-662-03416-3_11
- HOLBROOK John & SHUMM Stanley A., 1999, «Geomorphic and sedimentary response of rivers to tectonic deformation: a brief review and critique of a tool for recognizing subtle epirogenic deformation in modern and ancient settings», *Tectonophysics*, 287-306.


## 3. Pages en ligne


- Arbres Canada, 2019, *Stratégie canadienne sur la forêt urbaine 2019-2024* (en français), en ligne, consulté le 30 mai 2022, https://arbrescanada.ca/wp-content/uploads/2018/10/TC-CUFS-2019-2024-Fr-1.pdf
- Australian Departement of Agriculture, water and the Environment, 2021, *Ramsar wetland type classification*, en ligne, consultée le 02/12/2021. https://www.awe.gov.au/water/wetlands/ramsar/wetland-type-classification.
- Banque Mondiale, 2016, *Les forêts sont une ressource vitale pour le climat, l'eau, la santé et les moyens de subsistance*, en ligne, le 28/03/2020. https://www.banquemondiale.org/fr/news/feature/2016/03/18/why-forests-are-key-to-climate-water-health-and-livelihoods.
- BUTTLER A. Rhett, 2009, *Les forêts tropicales : la forêt liquide*, Mongbay, en ligne, consulté le 02/06/2022. https://global.mongabay.com/fr/rainforests/0602.htm

- Centre d'études et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement (CEREMA), 2020, *Les zones humides (approche générale)*, en ligne, consultée le 02/12/2021. https://www.google.com/search?channel=crow5&client=firefox-b-d&q=CEREMA.
- Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), 2021, *Menace sur les zones humides*, En ligne, consultée le 02/12/2021. https://www.insu.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/menace-sur-les-zones-humides.
- Centre de Ressources sur les Entreprises et les Droits de l'Homme (CREDH), 2018, *Gabon : Des habitants accusent Maurel & Prom d'avoir pollué leur environnement, l'entreprise minimise l'impact de l'incident et entame la dépollution du site.* en ligne, consultée le 20/11/2022.https://www.business-humanrights.org/fr/derni%C3%A8res-actualit%C3%A9s/gabon-des-habitants-accusent-maurel-prom-davoir-pollu%C3%A9-leur-environnement-lentreprise-minimise-limpact-de-lincident-et-entame-la-d%C3%A9pollution-du-site/
- Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (UNFCC), 2018, *Les zones humides disparaissent trois fois plus vite que les forêts*. En ligne, consultée le 02/12/2021. https://unfccc.int/fr/news/les-zones-humides-disparaissent-trois-fois-plus-vite-que-les-forets.
- DE BELIZAL Édouard, FOURAULT-CAUëT Véronique, GERMAINE Marie-Anne et al., 2017, *Géographie de l'environnement*, Armand Colin, Paris, https://www.cairn.info/geographie-de-l-environnement--9782200616304-page-15.htm.
- Eau-France, 2018, *les milieux humides*, en ligne, page consultée le 10/08/2021. https://www.eaufrance.fr/les-milieux-humides
- Eau-France, 2021, *Les zones humides et l'eau*, en ligne, page consultée le 19/10/2022. http://www.zones-humides.org/les-zones-humides-et-leau
- Eau-France, SANDRE (Service d'Administration Nationale des Données et Références sur l'Eau), 2021, *Jeux de données de référence, Référentiels Nomenclatures, Typologie hydrogéomorphologique*, Code Sandre : 920, page consultée en ligne le 05/08/2022, www.sandre.eaufrance.fr

- ESRI, 2019, *Méthodes de classification*, en ligne, page consultée le 24/03/2020. https://pro.arcgis.com/fr/pro-app/help/mapping/layer-properties/data-classification-methods.htm
- France 24, 2018, *Une entreprise pétrolière française pollue une rivière et un lac au Gabon*, en ligne, consultée le 20/11/2022. https://observers.france24.com/fr/20180205-gabon-petrole-pollution-entreprise-francaise
- Glossaire Eau, 2021, *Milieu marin et Biodiversité*, Zone humide, en ligne, page consultée le 17/06/2022. https://glossaire.eauetbiodiversite.fr/concept/zone-humide
- LAWSON Antoine, 2001, *Un sans-nom désastreux*, en ligne, page consultée le 02/08/2022. Capsules - Agence Science-Presse https://www.sciencepresse.qc.ca › archives › cap1012015
- Les zones humides, 2018, *Les zones humides disparaissent trois fois plus vite que les forêts*. En ligne, consultée le 02/12/2021. http://www.zones-humides.org/actualit%C3%A9/les-zones-humides-disparaissent-trois-fois-plus-vite-que-les-for%C3%AAts
- LOPEZ-ORNELAS Erick et SEDES Florence, 2007, *Génération de descripteurs d'images satellitaires à THRS*, Cybergeo, en ligne, page consultée le 25 août 2022. http://journals.openedition.org/cybergeo/8212 ; DOI : https://doi.org/10.4000/cybergeo.8212
- MOUMBONGOYO Rivel et KOMBILA-MOULOUNGUI Aubin Gildas, 2020, *Impact de l'arrêt de l'exportation des grumes dans la région lacustre du Gabon : enjeux territoriaux et nouvelles perspectives de développement géotouristique*, Dynamiques environnementales, en ligne, page consultée le 22/08/2022.URL: http://journals.openedition.org/dynenviron/4544; DOI: https://doi.org/10.4000/dynenviron.4544
- NGUYEN Huu Duy, ARDILLIER-CARRAS Françoise et TOUCHART Laurent, 2018, *Les paysages de rizières et leur évolution récente dans le delta du fleuve Gianh*, Cybergeo. [En ligne], page consulté le 11 juin 2022, DOI:10.4000/cybergeo.29826 / https://journals.openedition.org/cybergeo/29826

- ONU, 2018, *Il faut investir dans les forêts urbaines pour lutter contre la pollution et le changement climatique*, en ligne, consultée le 18/06/2022. https://www.un.org/development/desa/fr/news/forest/forests-and-cities.html
- Organisation des Nations Unis pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), 2015, *60 millions de personnes dépendent des lacs et rivières qui doivent être mieux gérés*, en ligne, page consultée le 06/08/2020, http://www.notre-planete.info/actualites/4197-lacs-rivieres-peche
- Organisation des Nations Unis pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), 2019, *Services Ecosystémiques & Biodiversité.* En ligne, page consultée le 29/03/2020. http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/fr/
- Organisation des Nations Unis pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), 2020, *Des arbres dans la ville : vers une foresterie urbaine durable.* En ligne, page consultée le 18/06/2022. https://news.un.org/fr/story/2020/02/1061062
- Organisation des Nations Unis pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), 2015, *Objectifs de développement durable*. En ligne, consultée le 02/12/2021. https://www.fao.org/sustainable-development-goals/overview/fao-and-post-2015/water/fr/
- PAPA Fabrice, CAUDOURO Dias de Paiva Rodriguo & FASSONI Alice, 2021, *L'eau sous l'œil des satellites,* IRD lemag, en ligne, consultée le 18/06/2022. https://lemag.ird.fr/fr/ln-5
- MOUSSAVOU Ghislain et MAMBELA Judy Emmanuel, 2016, *Plan National d'Affectation du Territoire, Gabon : Situation des terres affectées*, Partenariats des Forêts du Bassin du Congo, 26ème Réunion des Parties, 21-26/11/2016, Kigali, Rwanda. Ppt. [en ligne] https://archive.pfbc-cbfp.org › RDP16-Stream1.
- Ramsar, 2007, *Discours télévisé de son excellence Madame Georgette Koko, vice premier ministre, Ministre de l'environnement et de la protection de la nature : à l'occasion de la journée de la célébration de la journée mondiale des zones humides*. En ligne, le 06/08/2016. http://archive.ramsar.org/cda/en/ramsar-activities-wwds-journee-mondiale-des-21071/main/ramsar/1-63-78%255E21071_4000_0__etgrqid=EBzAHOswethl=fr-GA
- Ramsar, 2018, *Les zones humides l'écosystème le plus précieux du monde disparaissent trois fois plus vite que les forêts, selon un nouveau rapport*. En ligne,

consultée le 02/12/2021. https://www.ramsar.org/fr/news/les-zones-humides-lecosysteme-le-plus-precieux-du-monde-disparaissent-trois-fois-plus-vite-que

- Ramsar, 2022, *La convention sur les zones humides en bref*. En ligne, page consultée le 18/08/2021. https://www.ramsar.org/fr
- STEVART Tariq, BIDAULT Ehoarn, BOUPOYA Archange, IKABANGA Davy, PARADIS Anne Hélène, TEXIER Nicolas, PHILLIPSON Peter. B. & LOWRY Porter P., 2002, Continuously updated, *Threatened Plant Species of Gabon,* Missouri Botanical Garden, St. Louis, U.S.A. (en ligne). Consulté le 21/10/2022.
- SUTULA Martha A, STEIN Eric D., COLLINS Joshua N., FETSCHER A. Elizabeth, CLARK Ross, 2006, «A practical guide for the development of a wetland assessment method: the california experience*», Journal of the American Water Resources Association (JAWRA.),* vol. 42(1), p. 157-175. https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2006.tb03831.x
- Timbertrade Portal, 2022, *Documents clés de légalité requis dans le cadre de la gestion forestière et du commerce du bois au Gabon*. En ligne, consultée le 08/06/2022. https://www.timbertradeportal.com/fr/gabon/4/documents-cles
- UNESCO, 2021, *Réserves de biosphère*, en ligne, consultée le 18/06/2022, https://fr.unesco.org/biosphere.
- Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN), 2021, *La journée mondiale des zones humides 2021*. En ligne, consultée le 02/12/2021. https://uicn.fr/la-journee-mondiale-des-zones-humides-2021/
- Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN), 2020, *Programme Ressources en Eau et Zones Humides*. En ligne, consultée le 02/12/2021. https://www.iucn.org/fr/r%C3%A9gions/afrique-centrale-et-occidentale/notre-travail/les-programme-th%C3%A9matiques-r%C3%A9gionaux-dans-la-zone-du-paco/programme-ressources-en-eau-et-zones-humides
- VOISIN Rebecca, 2021, *Une zone humide c'est quoi ? Les zones humides en PACA*. En ligne, consultée le 02/12/2021. https://storymaps.arcgis.com/stories/5bd7b32a61b74c578d3c0b8a653ebb98
- Wikipédia, 2022, *Forêt secondaire*. En ligne, page consultée le 20/08/2022. https://fr.wikipedia.org/wiki/For%C3%AAt_secondaire

## 4. Lois et règlements


- Loi Française sur l'eau du 3 janvier 1992
- Loi n°016/2001 portant Code forestier en République gabonaise
- Clean Water Art section 404 (1977)
- Loi n°15/2005 portant Code des pêches et de l'aquaculture en République Gabonaise
- Loi 007/2014 du 1er août 2014 relative à la protection de l'environnement en République Gabonaise
- Arrêté 5053/MEF/CAB du 19 juin 2007 définissant les directives nationales d'aménagement durable des concessions forestières.


## 5. Documentation cartographique


- République gabonaise, 1984. *Lambaréné. Plan au 1 :10 000*, IGN Paris, France, 1984.
- République *gabonaise*, 1989. *Lambaréné, Carte topographique au 1/200.000*. Feuille SA-32 V de l'Afrique centrale ; 2ème édition. *IGN*, Paris. 1989.
- République Gabonaise, 2016, Gabon. Carte des ressources minérales au 1 000 000ème, 4ème édition, Libreville.

# ANNEXES

## ANNEXES A : Points de validation du réseau hydrographique

| CID | Latitude | Longitude | Rivière | Bassin versant |
|---|---|---|---|---|
| **1** | -0,91958309628 | 9,60791648266 | Orégа | Ogooué |
| **2** | -0,91874976289 | 9,61124981623 | Orégа | Ogooué |
| **3** | -0,91874976289 | 9,61124981623 | | Ogooué |
| **4** | -0,91609648795 | 9,70237794965 | | |
| **5** | -0,85372745267 | 10,16700042290 | Mônjwé | Ogooué |
| **6** | -0,84730290796 | 10,16906262250 | Mônjwé | Ogooué |
| **7** | -0,84503599861 | 9,73960600042 | | Ouango |
| **8** | -0,84503599861 | 9,73960600042 | | Ouango |
| **9** | -0,84503599861 | 9,73960600042 | | Ouango |
| **10** | -0,81374976724 | 10,18208312650 | Ogooué | Ogooué |
| **11** | -0,81343524631 | 10,15121666490 | | Ogooué |
| **12** | -0,78202143843 | 10,14136002310 | | Ogooué |
| **13** | -0,78202143843 | 10,14136002310 | | Ogooué |
| **14** | -0,77124976966 | 10,18874979190 | Ogooué | Ogooué |
| **15** | -0,72332900143 | 10,24758400040 | Biwénié | Ogooué |
| **16** | -0,70129100138 | 10,18739499830 | Rembo Déguélié | Ouango |
| **17** | -0,70129100138 | 10,18739499830 | | Ouango |
| **18** | -0,70064899965 | 10,17852200190 | Rembo Déguélié | Ouango |
| **19** | -0,69961700062 | 10,18583600010 | Rembo Déguélié | Ouango |
| **20** | -0,69958310518 | 10,22874979110 | Ogooué | Ogooué |
| **21** | -0,69573000034 | 10,16255699950 | Rembo Déguélié | Ouango |
| **22** | -0,69302499970 | 10,15972100090 | Rembo Déguélié | Ouango |
| **23** | -0,69291643894 | 10,23291645710 | Ogooué | Ogooué |
| **24** | -0,69287323757 | 10,08885367980 | | Ouango |
| **25** | -0,69242500171 | 10,16226400040 | Rembo Déguélié | Ouango |
| **26** | -0,68875044931 | 10,21333239010 | | Ogooué |
| **27** | -0,68837202821 | 10,24079420140 | Ogooué | Ogooué |
| **28** | -0,68591718666 | 10,23373862840 | | Ogooué |
| **29** | -0,68401029423 | 10,22374227280 | | Ogooué |
| **30** | -0,68401029423 | 10,22374227280 | | Ogooué |
| **31** | -0,68374977253 | 10,24791645640 | Ogooué | Ogooué |
| **32** | -0,68113721438 | 10,23671863040 | | Ogooué |
| **33** | -0,68044652056 | 9,93137119481 | Orégа | Ouango |
| **34** | -0,67669782894 | 10,23576513940 | | Ogooué |
| **35** | -0,66041644027 | 10,40124978340 | Ngounié | Ngounié |
| **36** | -0,65699123354 | 10,09508312950 | Rembo Azingo | Ouango |
| **37** | -0,64408534793 | 10,38082241690 | Ngounié | Ngounié |
| **38** | -0,64242893219 | 10,08123466650 | Rembo Azingo | Ouango |
| **39** | -0,63040075680 | 10,07276854420 | Rembo Azingo | Ouango |
| **40** | -0,62801799843 | 10,42521999930 | Mandjibé | |
| **41** | -0,62610199911 | 10,40949100060 | Mandjibé | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **42** | -0,62286500002 | 10,44665199930 | Mandjibé | |
| **43** | -0,62121895877 | 10,06709749430 | Rembo Azingo | Ouango |
| **44** | -0,62121895877 | 10,06709749430 | | Ouango |
| **45** | -0,61247627704 | 10,04275521280 | Rembo Azingo | Ouango |
| **46** | -0,61208310895 | 10,38791645090 | Ngounié | Ngounié |
| **47** | -0,60526651020 | 10,02583724510 | Rembo Azingo | Ouango |
| **48** | -0,60417944524 | 10,29274183100 | Ngounié | Ngounié |
| **49** | -0,59874977558 | 10,36124978500 | Ngounié | Ngounié |
| **50** | -0,59689289208 | 10,01542734560 | Rembo Azingo | Ouango |
| **51** | -0,59644632177 | 10,01095460020 | Rembo Azingo | Ouango |
| **52** | -0,59291644274 | 10,33791645370 | Ngounié | Ngounié |
| **53** | -0,58839200029 | 10,28321700060 | Mbiné | |
| **54** | -0,58839200029 | 10,28321700060 | | |
| **55** | -0,58588800173 | 10,28160200160 | Mbiné | |
| **56** | -0,58161299974 | 10,28274399940 | Mbiné | |
| **57** | -0,57698600220 | 10,27941800070 | Mbiné | |
| **58** | -0,57387700092 | 10,27654400040 | Mbiné | |
| **59** | -0,57161500003 | 10,27468999850 | Mbiné | |
| **60** | -0,56925199988 | 10,27352099860 | Mbiné | |
| **61** | -0,56693400090 | 10,26935899910 | Mbiné | |
| **62** | -0,56552900176 | 10,26701899910 | Mbiné | |
| **63** | -0,56207200152 | 10,26481800020 | Mbiné | |
| **64** | -0,56046800130 | 10,26349399930 | Mbiné | |
| **65** | -0,55871700059 | 10,26167700010 | Mbiné | |
| **66** | -0,55704200159 | 10,26326200120 | Mbiné | |
| **67** | -0,55512899880 | 10,26429200020 | Mbiné | |
| **68** | -0,55337399881 | 10,26476800050 | Mbiné | |
| **69** | -0,55301000091 | 10,26639000160 | Mbiné | |
| **70** | -0,55267500165 | 10,26784499940 | Mbiné | |
| **71** | -0,54938700111 | 10,26730399880 | Mbiné | |
| **72** | -0,54334799871 | 10,26376899940 | Mbiné | |
| **73** | -0,53638500137 | 10,26239599820 | Mbiné | |
| **74** | -0,53359400126 | 10,26318899880 | Mbiné | |
| **75** | -0,53088422270 | 10,26100913450 | Mbiné | |
| **76** | -0,52810644492 | 10,26100913450 | Mbiné | |
| **77** | -0,52588422269 | 10,26128691230 | Mbiné | |
| **78** | -0,52402199962 | 10,25954799810 | Mbiné | |
| **79** | -0,52322399969 | 10,25740899930 | Mbiné | |
| **80** | -0,52052899951 | 10,25891799880 | Mbiné | |
| **81** | -0,51517100154 | 10,26256000120 | Mbiné | |
| **82** | -0,51244800008 | 10,26356500170 | Mbiné | |
| **83** | -0,50737011944 | 10,26465556130 | Mbiné | |
| **84** | -0,43792999907 | 10,17661200190 | Minkamé | |
| **85** | -0,43237000078 | 10,20066900160 | Minkamé | |
| **86** | -0,42972200007 | 10,49115500020 | Mboumi | Ogooué |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **87** | -0,42776603253 | 10,45814103500 | Mboumi | Ogooué |
| **88** | -0,42776603253 | 10,45814103500 | | Ogooué |
| **89** | -0,42541900129 | 10,45986799990 | Mboumi | Ogooué |
| **90** | -0,42307261081 | 10,48390003540 | Mboumi | Ogooué |
| **91** | -0,42092887663 | 10,46294429920 | Mboumi | Ogooué |
| **92** | -0,42006831938 | 10,47504976350 | Mboumi | Ogooué |
| **93** | -0,41962497323 | 10,50081590670 | Mboumi | Ogooué |
| **94** | -0,41433999849 | 10,21695099880 | Minkamé | |
| **95** | -0,30839047507 | 10,48015774480 | Abanga | Ogooué |
| **96** | -0,30710400045 | 10,51698900170 | | Ogooué |
| **97** | -0,30710400045 | 10,51698900170 | | Ogooué |
| **98** | -0,30463990161 | 10,51696702140 | | Ogooué |
| **99** | -0,30382468156 | 10,47928691230 | Abanga | Abanga |
| **100** | -0,30309899832 | 10,51087199930 | | Ogooué |
| **101** | -0,30309899832 | 10,51087199930 | | Ogooué |
| **102** | -0,30120013077 | 10,47740444070 | Abanga | Abanga |
| **103** | -0,30040283145 | 10,51200164680 | | Ogooué |
| **104** | -0,29783301357 | 10,51247753900 | | Ogooué |
| **105** | -0,29767438283 | 10,50407011010 | | Ogooué |
| **106** | -0,28901314477 | 10,54102472580 | | Ogooué |
| **107** | -0,28815653881 | 10,54346763910 | | Ogooué |
| **108** | -0,28793445578 | 10,53966050150 | | Ogooué |
| **109** | -0,28701439753 | 10,53880389550 | | Ogooué |
| **110** | -0,28688491132 | 10,53756399410 | | Ogooué |
| **111** | -0,28262810579 | 10,48501379430 | Abanga | Abanga |
| **112** | -0,28208399958 | 10,53634100020 | | Ogooué |
| **113** | -0,28208399958 | 10,53634100020 | | Ogooué |
| **114** | -0,28052099945 | 10,53602199990 | | Ogooué |
| **115** | -0,26549161289 | 10,48758282780 | Abanga | Abanga |
| **116** | -0,25227967589 | 10,48263889250 | Abanga | Abanga |
| **117** | -0,24793739663 | 10,49466301080 | Abanga | Abanga |
| **118** | -0,23886183930 | 10,49768773820 | Abanga | Abanga |
| **119** | -0,23523691303 | 10,48950082620 | Abanga | Abanga |
| **120** | -0,22484545029 | 10,48884480710 | Abanga | Abanga |
| **121** | -0,21640099326 | 10,48068617670 | Abanga | Abanga |
| **122** | -0,20830199001 | 10,48428131620 | Abanga | Abanga |
| **123** | -0,20145800109 | 10,75107999870 | Bigne | |
| **124** | -0,20082600072 | 10,75046199990 | Bigne | |
| **125** | -0,20025100028 | 10,74960100070 | Bigne | |
| **126** | -0,19802099907 | 10,74897700070 | Bigne | |
| **127** | -0,18161699803 | 10,76759499950 | Missanga | Ogooué |
| **128** | -0,18086803463 | 10,69193578370 | Ogooué | Ogooué |
| **129** | -0,17955299997 | 10,76637999920 | Missanga | Ogooué |
| **130** | -0,17874979297 | 10,70208310540 | Ogooué | Ogooué |
| **131** | -0,17772726432 | 10,70896495610 | Ogooué | Ogooué |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **132** | -0,17606100171 | 10,76596499900 | Missanga | Ogooué |
| **133** | -0,17288500004 | 10,77074199800 | | |
| **134** | -0,16963000012 | 10,77144700180 | | |
| **135** | -0,16572100152 | 10,77081300040 | | |
| **136** | -0,16344100070 | 10,76966099860 | | |
| **137** | -0,16245100091 | 10,77144700180 | | |
| **138** | -0,16019299841 | 10,77264300030 | | |
| **139** | -0,15771499925 | 10,77120200040 | | |
| **140** | -0,15402800189 | 10,77176400020 | | |
| **141** | -0,15256400093 | 10,77147199930 | | |
| **142** | -0,15104300093 | 10,77057599850 | | |
| **143** | -0,14873600157 | 10,77061100010 | | |
| **144** | -0,14631529834 | 10,80784275420 | Ogooué | Ogooué |
| **145** | -0,14631529834 | 10,80784275420 | | Ogooué |
| **146** | -0,14526400063 | 10,76869199880 | | |
| **147** | -0,14346800055 | 10,76602700000 | | |
| **148** | -0,13556700042 | 10,76883399910 | | |
| **149** | -0,13428999908 | 10,76796200110 | | |
| **150** | -0,13333300082 | 10,76724900150 | | |
| **151** | -0,13245599815 | 10,76685300040 | | |
| **152** | -0,13070000080 | 10,76685300040 | | |
| **153** | -0,10493399881 | 10,77168800210 | | |

## ANNEXE B : Photos

Pêcheur sur la rivière Mbiné
Crédit : Fern MBOUMBOU MAKANGA, 2020

Herbacées flottantes sur le lac Azingo
Crédit : Guichard NDZENG OBIANG, 2020

Zone humide saisonnière au village Juncville
Crédit : Fern MBOUMBOU MAKANGA, 2020

Sol inondé en permenence sur une plage de ouango
Crédit : Fern MBOUMBOU MAKANGA, 2020

Exploitation minière dans la zone de Ndjolé
Crédit photo : Guy Philippe SOUNGUET, 2019

Ouverture d'une piste forestière au sud de Ndjolé
Crédit photo : Guy Philippe SOUNGUET, 2020

# ANNEXE C : Publication



## CONTRIBUTION DE LA TELEDETECTION A L'ANALYSE HYDRO-MORPHOLOGIQUE DU LAC MANDZA (SUD-OUEST DU GABON)

**MBOUMBOU MAKANGA FERN LIELE [(1)], MALOBA MAKANGA JEAN DAMIEN [(1)] ***

*Laboratoire d'Analyses Spatiales et des Environnements Tropicaux (LANASPET), Université Omar Bongo, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Département de Géographie, Libreville. Gabon. *malobamakanga@yahoo.com*

***Résumé :*** *Cette étude vise, entre autres objectifs, à produire des données de base pour la mise en place d'un plan de gestion du site Ramsar (N° 353) de Setté Cama dans lequel se situe le lac Mandza. Le couplage des données satellitaires et de terrain permet de cartographier l'évolution de la hauteur et de la superficie du lac Mandza sur la période 1987-2017. L'analyse des données montre une diminution progressive de la hauteur et de la superficie des eaux, qui s'accompagne de modifications morphologiques autour du lac. Celles-ci se caractérisent surtout par une extension du rivage qui, de surcroît, subit une érosion.*

***Mots clés*** *: Gabon, Lac Mandza, Télédétection, Variabilité pluviométrique, Hydro-morphologie.*

***Abstract: Contribution of remote sensing to the hydro-morphological analysis of Lake Mandza (South-West of Gabon).*** *This study aims, among other objectives, to produce basic data for the establishment of a management plan for the Ramsar site (N° 353) of Setté Cama in which Lake Mandza is located. The coupling of remote and field data makes it possible to map the evolution of the height and the extent of Lake Mandza over the period 1987-2017. Analysis of the data shows a gradual decrease in the height and the extent of the water body, which is followed by morphological changes around the lake. These are characterized above all by an extension of the shore which, moreover, is subject to erosion.*

***Keywords****: Gabon, Mandza lake, Remote sensing, Rainfall variability, Hydromorphology.*

### Introduction

Le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) définit la variabilité du climat comme un ensemble des « *variations de l'état moyen et d'autres variables statistiques (écarts types, extrêmes, etc.) du climat à toutes les échelles spatiales et temporelles au-delà de la variabilité propre à des phénomènes météorologiques particuliers* » (GIEC, 2013, p.203). Elle peut être une variation naturelle, ou le résultat d'actions anthropiques (Wehrling, 2015).

Au cours de ces dernières décennies, les pays de l'Afrique subsaharienne ont été confrontés au phénomène de la variabilité climatique et au défi de la gestion des risques en constante augmentation qu'elle induit (Kodja, 2013). Des études en rapport avec la variabilité du climat mettent en exergue, notamment, les risques d'inondation (Mbadinga Igaly et *al*., 2019) ou l'assèchement des plans d'eau (Sylvestre et *al*., 2012). En l'occurrence, il s'agit d'un certain nombre de problèmes environnementaux dont l'analyse s'appuie notamment sur les outils de la télédétection et des systèmes d'information géographique.

Jouant un rôle majeur dans l'étude, la modélisation et le suivi des phénomènes environnementaux, les technologies d'observation de la terre offrent une échelle spatiale et temporelle suffisante pour réduire à la fois les efforts colossaux que requièrent les méthodes conventionnelles de collecte de données, en particulier sur le terrain, et les coûts financiers y afférents. Cette nouvelle approche facilite l'aide à la décision et permet aux décideurs de définir des stratégies adéquates pour les objectifs du développement durable (Begni et *al*., 2005).

Cette recherche sur la contribution de la télédétection à l'analyse du milieu physique a pour cadre le lac Mandza. Celui-ci est entouré d'une vaste zone de forêts marécageuses qui abritent, entre autres, plusieurs espèces fauniques protégées comme l'éléphant de forêt *(Loxodonta africana)*. Si le pourtour du lac se caractérise par une faible occupation humaine, ce plan d'eau stagnant constitue malgré tout, une zone de pêche intensive. Les produits de cette activité engendreraient un chiffre d'affaires, estimé à plus d'un milliard de FCFA par an

(Houehounha, 2015). Mais depuis quelques années, la superficie du lac tend à se réduire, et selon les populations, cette modification serait liée à la variabilité climatique (Mboumbou Makanga, 2018).

Dans l'optique d'un développement durable, ce milieu présente une valeur écologique et socio-économique importante. A cet effet, il est primordial pour les décideurs de disposer d'informations fiables pour planifier la gestion intégrée des différentes ressources de cet écosystème. Ainsi, cette étude vient en appui à la mise en place d'un plan de gestion, dans le site Ramsar (N° 353) de Setté Cama par l'État gabonais (Ministère de l'Environnement), impliquant l'Agence Nationale de Préservation de la Nature (ANPN) et la Direction Générale des Ecosystèmes Aquatiques. Ce site, difficile d'accès, ne dispose d'aucune station d'observation des paramètres environnementaux.

Ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour localiser et identifier à distance un objet, sans avoir de contact matériel avec lui, la télédétection «[…] permet un accès à l'information concernant les régions inhospitalières à l'accès difficile, voire impossible […]. La télédétection spatiale apparaît ainsi comme le moyen des inventaires et d'une surveillance systématique sur de vastes superficies, et du suivi de phénomènes peu rapides à l'échelle de la répétitivité des satellites » (Couzy, 1981, p.71).

Dans le cas présent, l'exploitation des images satellitaires et des données de terrain permet d'analyser la dynamique de quelques caractéristiques du milieu physique du lac Mandza. Aussi, la problématique de cette étude repose-t-elle sur les questions suivantes : dans une région où l'alimentation en eau du lac est étroitement liée aux précipitations, quelles sont d'une part l'évolution, sur la période 1987-2017, du niveau d'eau du lac Mandza, et, d'autre part les principales modifications morphologiques associées à celle-ci ? De même, les modifications environnementales peuvent être liées à plusieurs facteurs mais dans quelle mesure la variabilité pluviométrique influe-t-elle sur les différentes modifications constatées autour du lac Mandza ? L'objectif est d'une part, de caractériser l'évolution de la morphologie en rapport avec les fluctuations du niveau d'eau du lac et, d'autre part, de déterminer l'impact de la variabilité pluviométrique sur les différentes modifications hydro-morphologiques du lac Mandza.

## 1. Cadre géographique de la région du lac Mandza

Le lac Mandza, partie intégrante du site Ramsar (N° 353) de Sette Cama, est situé dans la province de l'Ogooué-Maritime, à la périphérie du Parc National de Moukalaba-Doudou, au sud-ouest du Gabon (**Figure 1**). Ce plan d'eau est localisé à proximité de deux grands ensembles hydrologiques importants : la lagune Ndougou au nord, et le fleuve Nyanga au sud.

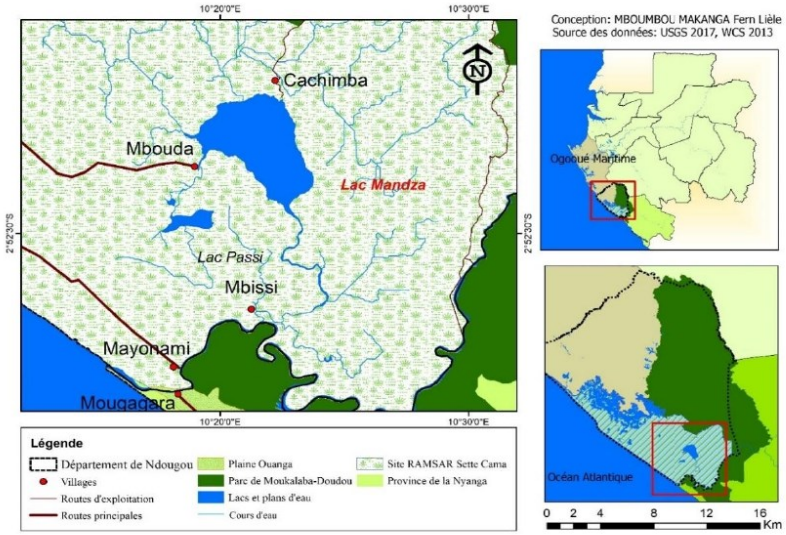



**Figure 1 :** Localisation du Lac Mandza

Avec une superficie de 4221 ha, le lac Mandza s'étend sur une longueur moyenne de 8 km et une largeur maximale de 6 km. Ce lac, d'une profondeur moyenne d'un mètre en saison sèche, peut atteindre trois mètres de hauteur d'eau en saison des pluies (WWF, 1997 ; Mboumbou Makanga, 2018). Il est principalement alimenté par la rivière Douébi, qui prend sa source dans les Monts-Doudou, à 240 mètres d'altitude et déverse son « trop plein » d'eau par la rivière Mbissi. De manière générale, la région étudiée correspond à une plaine alluviale d'environ 30 mètres d'altitude, que surplombe un relief de faible commandement (**Figure 2 & 3**).

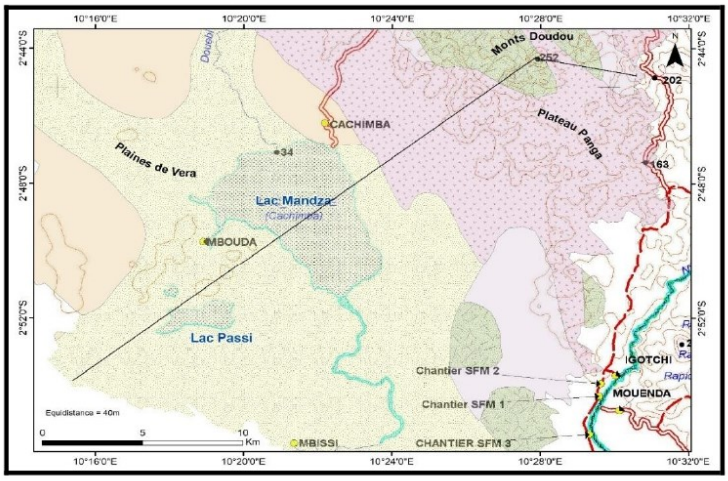



**Figure 2 :** Les ensembles orographiques de la région du lac Mandza

***Source :*** *Carte topographique au 200 000ème, Institut National de Cartographie (2006), feuille de Tchibanga ; Carte géologique du Gabon au 1 000 000ème, 2è édition, 2002*

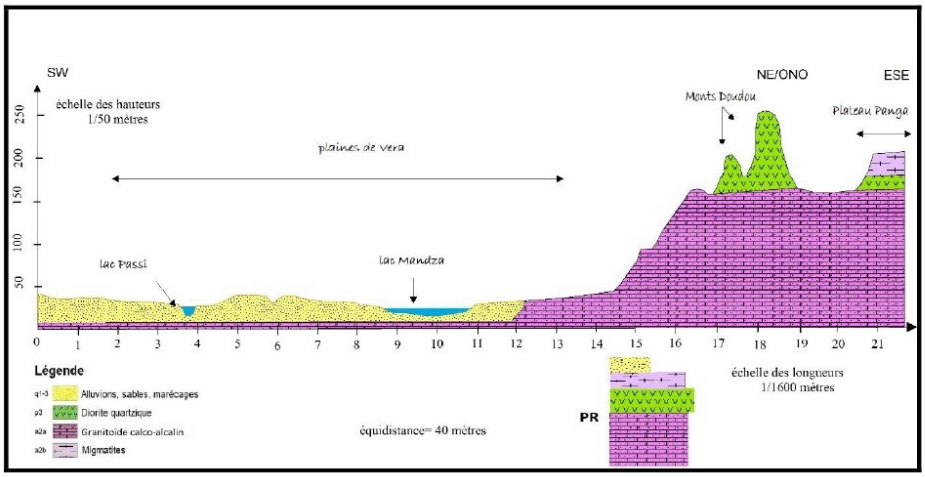



**Figure 3 :** Coupe géologique de la région du lac Mandza

**Source :** Carte topographique au 200 000ème, Institut National de Cartographie (2006), feuille de Tchibanga ; Carte géologique du Gabon au 1 000 000ème, 2e édition, 2002

Le site Ramsar (N° 353) de Setté Cama couvre une superficie de 240 000 hectares et les sols de cette région, essentiellement ferralitiques, sont composés de sables, d'argiles, de limons et minéraux sableux. Ces sols reposent sur des migmatites et des granites du Protérozoïque qui constituent la chaîne des Monts Doudou (Chevallier, 2002) à l'est, et sur les roches-mères sédimentaires à l'ouest.

Le lac Mandza, partie prenante du complexe hydrologique du site Ramsar (N° 353) de Setté Cama, s'est établi au pied d'un des versants des Monts Doudou (**Figure 3**), dans des formations alluviales et sableuses, de la région littorale du sud-Gabon.

La typologie des sols a certainement un rôle important dans le comportement hydro-morphologique du lac Mandza. De prime abord, on note qu'en général, les sols sableux sont plus propices aux infiltrations des eaux de pluies ou au ruissellement après saturation. Ce phénomène naturel contribue à l'alimentation des nappes aquifères dont le taux de remplissage peut influer, à terme, sur la variation du niveau d'eau du lac. En revanche, les sols ferralitiques peuvent être, dans certaines conditions (absence de couvert végétal par exemple) sensibles à l'érosion déclenchée par les eaux de pluie ou le ruissellement.

Dans l'ensemble, les sols de la région de ce lac sont recouverts majoritairement par des forêts inondées, qui constituent une des composantes majeures du complexe hydrologique du site Ramsar (N° 353) de Setté Cama (**Figure 4**). Du fait de leur proximité, les eaux de ces forêts peuvent participer à la recharge du bassin versant du lac Mandza.

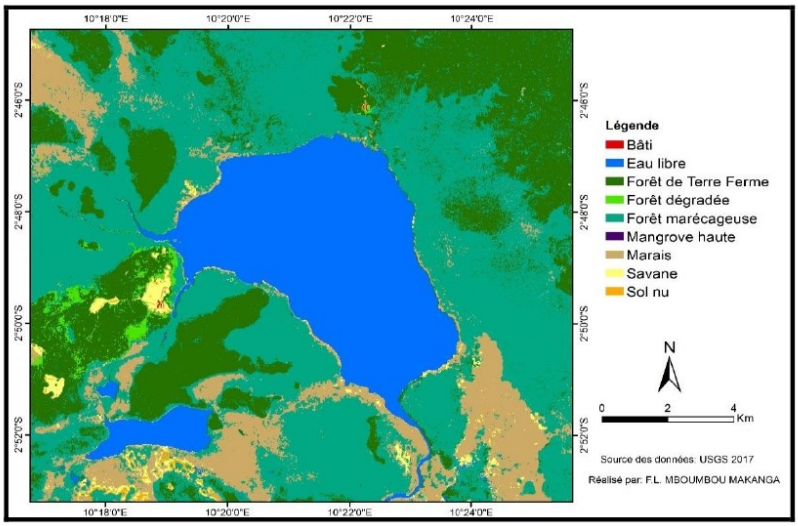



**Figure 4 :** Le lac Mandza : un plan d'eau stagnant sous influence des forêts inondées du site Ramsar Setté Cama

Au total, en l'absence de l'action de l'homme qui pourrait notamment procéder à des prélèvements d'eau pour la satisfaction de ses différents besoins (socio-économiques par exemple), le lac Mandza jouit des conditions oro-hydrographiques favorables à sa pérennité.

## 2. Matériels et méthodes

La réalisation de cette étude a nécessité l'utilisation des images satellitaires, des données météorologiques et d'un matériel spécifique pour relever la bathymétrie du lac Mandza.

### *2.1. Les images Landsat*

Les images Landsat apparaissent comme un outil adéquat et indispensable pour suivre un phénomène sur une longue période. En effet, Landsat demeure le seul satellite optique, à moyenne résolution, capable de fournir des images sur plus de 40 ans pour une zone donnée. Toutefois, la présence quasi constante de nuages dans la zone d'étude limite la qualité des images disponibles. En conséquence, celles-ci n'ont pu être téléchargées à intervalle de temps identique (même mois). Dans le détail, les images exploitées ont été sélectionnées pour les mois de la saison sèche de la zone d'étude, c'est-à-dire entre juin et septembre (Maloba Makanga, 2010). Ces images Landsat (**Tableau 1**) d'une résolution relativement faible (30 mètres), acquises entre 1987 et 2017, permettent toutefois de mener une analyse diachronique dont les résultats sont prometteurs.

**Tableau I:** Les données satellitaires utilisées

| Type | ID | Path & Row | Capteurs | Date | Résolution spatiale |
|---|---|---|---|---|---|
| Landsat 5 | LT05_L1GS_185062_19870726_20170211_01_T2 | 185062 | TM | 26 juillet 1987 | 30 mètres |
| Landsat 7 | LE71850622006219ASN00 | | ETM | 16 juillet 2004 | |
| Landsat 7 | LC81850622017001LGN00 | | | 04 juillet 2017 | |

### *2.2. Données climatologiques*

De manière générale, le réseau de stations météorologiques est assez lâche au Gabon. De même, la qualité des données pour la majeure partie des stations laisse à désirer, en raison, entre autres, de nombreuses lacunes qui affectent les différentes séries chronologiques (Maloba Makanga, 2010). Les données traitées ici, proviennent des stations de l'aéroport de Gamba et du site pétrolier de Rabi Kounga, situées respectivement à environ 26 km et 105 km du lac Mandza. Ces deux stations fiables étaient gérées, jusqu'en 2017, par le groupe pétrolier international SHELL.

Compte tenu de la distance des postes pluviométriques par rapport au lac, nous aurions dû procéder à un krigeage, mais rechercher une interpolation spatiale avec seulement deux points pourrait engendrer d'énormes erreurs. Effet, dans ce contexte de pluies orageuses très localisées (Maloba Makanga, 2014), il aurait fallu disposer d'au moins 3 points d'observations autour de la zone d'étude. Ceux-ci devraient, de surcroît, comporter des données de précipitations pour les mêmes périodes, ce qui n'est pas le cas.

Précisons que si les paramètres hydrologiques extraits des images satellitaires concernent la période 1987-2017, la série de données pluviométriques disponibles (1985-2012) ne permet pas d'étendre l'analyse diachronique de la relation entre les précipitations et la variable « niveau d'eau du lac » à la séquence 2013-2017.

### *2.3. Collecte des données bathymétrique*

Dans cette étude, les données bathymétriques résultent aussi bien de levés de terrain que des images Landsat acquises pour les années 1987, 2004 et 2017. Dans le détail, la collecte des données s'est déroulée en deux phases.

Durant la première phase de terrain, des profondeurs du lac ont été levées sur 42 points préalablement définis (**Figure 5**). Cette opération s'est faite à partir d'une embarcation dotée d'une corde lestée. De même, la précision des mesures a nécessité l'emploi d'un double décamètre et d'un GPS. Toutefois, pour obtenir un meilleur calibrage des différents paramètres, la mission de terrain s'est déployée sur deux jours : la veille et le jour même du balayage de la zone d'étude par le satellite Landsat 7.

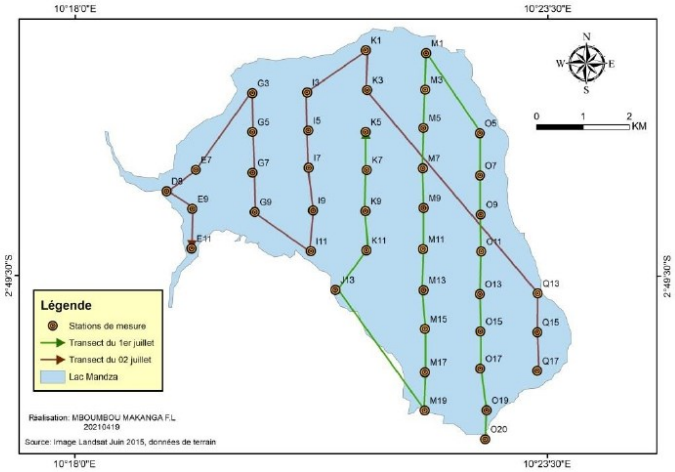



**Figure 5** : Les stations et transects sur le lac Mandza

La deuxième phase de ce travail a permis de calibrer notre modèle, à partir de l'image de 2017 et les mesures de profondeur acquises sur le terrain. Ce modèle a, par la suite, été appliqué aux autres images à travers la relation linéaire multiple, entre le rapport de radiance dans les bandes vertes et bleues et les mesures *in situ* de profondeurs de l'eau (Pushparaj et Hedge, 2017).

$$Z = m1\left(\frac{\ln\left(Lobs(Bandei)\right)}{\ln\left(Lobs(Bandej)\right)}\right) - m0$$

Notons que $L_{obs}$ représente la radiance observée des bandes, $m_1$ et $m_0$ constituent les coefficients déterminés empiriquement, ***i*** se réfère à la bande bleue, ***j*** renvoie à la bande verte, et ***Z*** indique la profondeur en mètres.

## 3. Résultats et discussion

### *3.1. Le calibrage du modèle bathymétrique et l'analyse de l'évolution des profondeurs*

L'emploi de l'algorithme de H. Stumpf et *al.* (2003) permet de déduire la bathymétrie à partir des images satellitaires. À cet effet, la première image exploitée dans cette perspective est celle de Landsat 7. De même, sur les 42 points préalablement définis, 30 positions de calage ont été utilisées pour l'analyse de régression avec les mesures *in situ*. De cette approche, il ressort que les estimations déduites de l'algorithme sont parfaitement en adéquation avec les données mesurées directement dans le lac. En effet, l'analyse met en évidence une très forte corrélation (r=0,99) entre les profondeurs (**Figure 6a**) extraites de différentes sources.

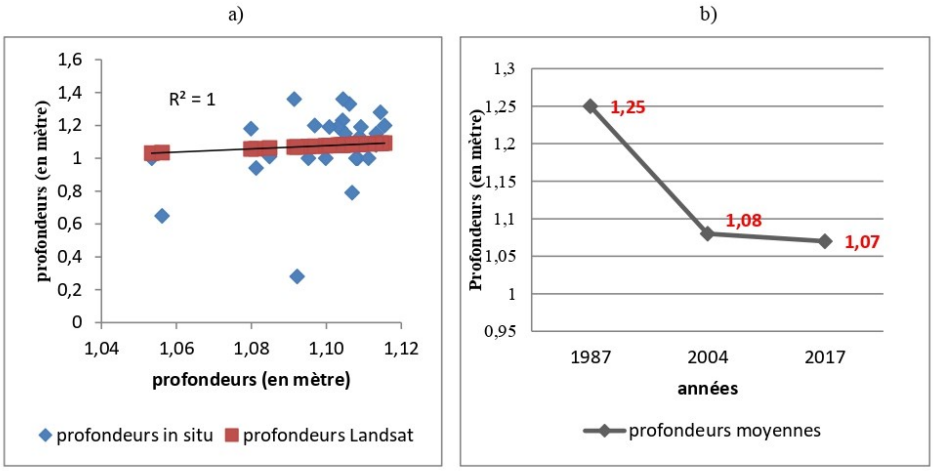



**Figure 6:** Distribution des données (mesures *in situ* et estimations satellitaires) de la profondeur du lac Mandza par rapport à la droite de régression linéaire et variation des profondeurs moyennes dans le lac Mandza

L'exploitation des estimations issues de cette approche méthodologique met en exergue une diminution continue de la profondeur du lac de 1987 à 2017. Ainsi, estimée à 1,25 mètre en 1987, celle-ci décroît pour atteindre 1,08 mètre en 2004 et 1,07 mètre en 2017. Cette faible diminution semble traduire une certaine stabilité du niveau d'eau du lac ; celle-ci ne serait-elle pas associée à l'évolution pluviométrique de la région d'étude ? Notons toutefois que, si la profondeur du lac Mandza a diminué en moyenne de 0,18 mètre par an, entre 1987 et 2017 (**Figure 6b**), ses fluctuations sont peu perceptibles dans l'espace.

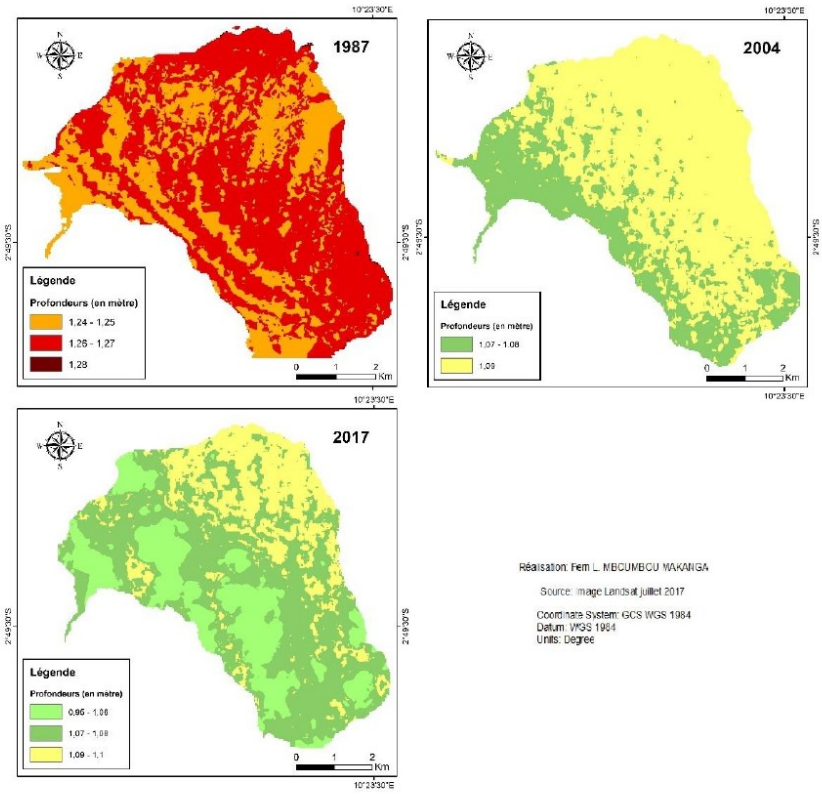
Une analyse approfondie montre que les secteurs du lac Mandza, dont les profondeurs sont strictement supérieures à 1,28 m, sont représentés de façon marginale sur la carte bathymétrique de 1987. En effet, le lac présente des profondeurs qui sont majoritairement comprises entre 1,24 m et 1,27 m [**Figures 7** (1987), **8** (2004) et **9** (2017)].

De manière générale, les valeurs de classes de la profondeur du lac en 2004 sont inférieures à celles de 1987. De fait, la majorité du lac présente une profondeur qui se situe entre 1,07 et 1,09 m. La valeur maximale de profondeur de 2004 est en réalité inférieure de 0,15 m aux profondeurs les plus faibles de 1987 [**Figures 7** (1987) et **8** (2004)].

Même si la profondeur maximale du lac Mandza avoisine 1,09 m en 2017, la carte bathymétrique de cette année se singularise par la présence de plages, dont les valeurs constituent les profondeurs les plus faibles (autour de 0,95 m) de la période 1987-2017 [**Figure 7** (1987) et **9** (2017)**]**.

### *3.2. Évolution surfacique et morphologique*

Le traitement des images satellitaires permet aussi d'analyser l'évolution de la superficie du lac. Il ressort de cette analyse une diminution de l'étendue de la surface du lac Mandza entre 1987 et 2017. Le recul du plan d'eau est remarquable surtout sur le pourtour oriental qui se caractérise par une extension du rivage en 2017 dans un secteur pourtant ennoyé en 1987 (**Figure 10**).




**Figures 7 (1987), 8 (2004) et 9 (2017)** : Répartition des profondeurs du lac Mandza

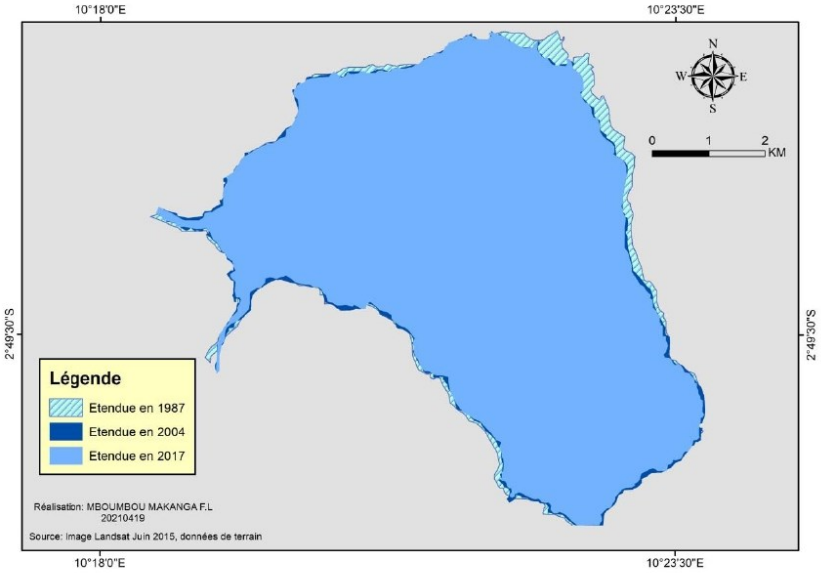



**Figure 10 :** Évolution de la superficie du lac Mandza, entre 1987 et 2017

L'analyse détaillée des données de la variable « superficie » révèle que le lac est passé de 43,08 km$^2$ en 1987 à 41,38 km$^2$ en 2017 ; soit une diminution de 1,70 km$^2$. La très faible diminution de la superficie du lac entre 2004 (41,44 km²) et 2017 (41,38 km²), assimilable à une stabilité de la superficie des eaux du lac, correspond, de fait, à la faible réduction des hauteurs d'eau du lac mise en exergue ci-dessus.

Spécifions qu'autour du lac, les zones d'accrétion qui correspondent aux superficies en eau perdues, totalisent 1,97 km$^2$. Dans le détail, elles se situent à la périphérie du lac et majoritairement au nord-est. Toutefois, ces secteurs perdus par l'eau subissent une certaine érosion. Les superficies érodées de 1987 à 2017 s'étendent sur 0, 33 km$^2$ et se concentrent surtout vers les exutoires et les débarcadères. De manière générale, l'apport de terres érodées des berges peut expliquer aussi le colmatage des fonds du lac. Ainsi, l'érosion des berges façonnées dans les dépôts alluviaux pourrait être aussi une source de sédimentation au fond du lac. Seule l'analyse de sédiments prélevés au fond du lac pourraient confirmer ou non cette hypothèse.

### *3.3. Discussion*

Au Canada, des stations hydrométriques et des échelles limnimétriques disposées le long de certains lacs et rivières fournissent des données sur les débits et le niveau des cours d'eau, pour alerter et mobiliser plus rapidement les intervenants dans les situations critiques. Elles ont été installées à proximité des zones habitables, afin de prévenir plus efficacement les conséquences d'éventuelles inondations sur la population. De même, en Chine, la disponibilité des données a permis de montrer par exemple que la plaine d'inondation du fleuve Yangtze contient de nombreux lacs en arc de cercle ou riverains, qui étaient tous ouvertement reliés au fleuve Yangtze ou à ses principaux affluents avant les années 1950. Cependant, les pressions, résultant des établissements humains et de l'utilisation des ressources du bassin versant, ont exercé de forts impacts sur ces écosystèmes lacustres, modifiant leur morphologie, leur connectivité et l'état trophique des lacs (Huang et *al.*, 2014).

Dans un contexte de précipitations abondantes et de forêt exubérante, le Gabon dispose d'un réseau hydrographique dense, comportant de nombreuses masses d'eau lacustres. Les caractéristiques hydro-morphologiques de ces lacs du delta intérieur du fleuve Ogooué et des grandes lagunes du Gabon méridional, restent à déterminer. Les outils de la télédétection utilisés pour l'analyse de la dynamique de ce milieu lacustre et l'application de la démarche proposée devraient contribuer, d'une part, à renforcer les connaissances sur la limnologie et, aussi, d'autre part, à impulser la gestion durable des zones humides du Gabon.

L'originalité de cette étude consiste, entres autres aspects, au fait qu'elle concerne cumulativement un espace lacustre faiblement anthropisé, et une région dépourvue de systèmes classiques de mesures de paramètres hydrologiques ou environnementaux. Dans ce contexte, les images Landsat apparaissent comme des outils indispensables au suivi d'un phénomène sur une longue période, soit plus de quatre décennies, car le premier satellite a été mis en orbite en 1972. Dans les faits, les images Landsat, dites à haute ou moyenne résolution, ont été préalablement utilisées pour cartographier l'utilisation du sol (M. Mainguet, 1990). Puis les progrès scientifiques et techniques ont permis la mise en place progressive des applications plus spécifiques telles que la détection des propriétés physico-chimiques de l'eau (Chamaille, 2008), la modélisation hydrologique (Hancock, 2015) ou la cartographie de la bathymétrie (Pushparaj et Hegde, 2017).

Dans la présente étude, l'exploitation des données satellitaires a permis de mettre en évidence, d'une part, une faible diminution de la profondeur et, d'autre part, un léger recul de la surface du lac Mandza entre 1987 et 2017. L'analyse montre aussi que les berges exondées, à la suite du retrait du lac, sont l'objet d'une érosion régressive particulièrement sur la bordure orientale du lac qui pourrait contribuer au comblement du fond du lac par les débris d'érosion.

En outre, le Gabon appartient au domaine bioclimatique équatorial. La pluviométrie y joue un rôle essentiel dans l'alimentation en eau des bassins versants hydrographiques (Maloba Makanga, 2012). Dans le domaine de la limnologie, le paramètre relatif aux précipitations est un élément clef dans les variations spatiales des eaux d'un lac. A partir des images satellitaires et des données météorologiques, Lu *et al.* (2013), ont montré une bonne corrélation entre la dynamique des précipitations et celle de l'étendue spatiale d'un lac au nord de la Chine.

Ainsi, étant donné que la région du lac Mandza compte deux postes pluviométriques, il apparaît nécessaire de vérifier si les variations hydrologiques mises en évidence à partir des images satellitaires sont conformes ou non à l'évolution des précipitations dans la région. Les **figures 11 a et b** présentent l'évolution de la pluviométrie annuelle au cours de la période (1985-2012) commune aux deux postes pluviométriques dont les données ont été utilisées dans cette étude. Il en ressort une évolution des précipitations en dents de scie.

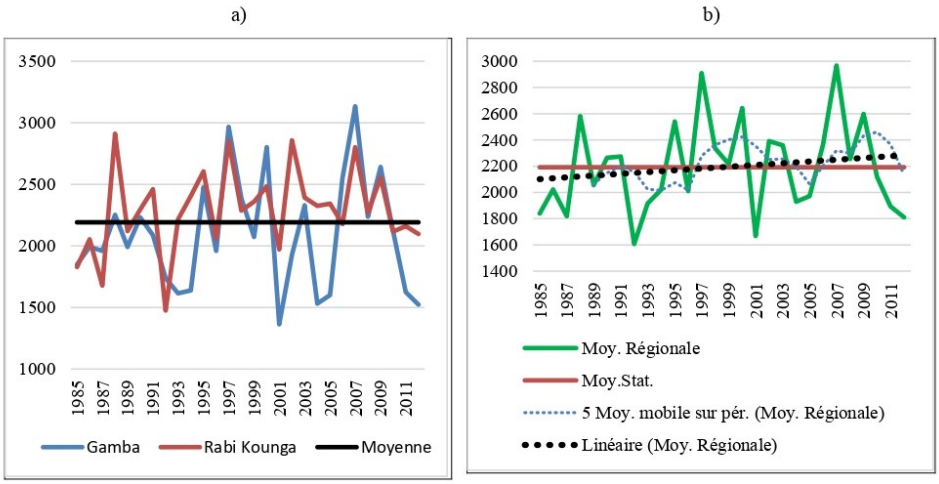



**Figure 11 :** Variabilité pluviométrique autour du lac Mandza (1985-2012)

L'indice régional, élaboré à partir des moyennes annuelles des deux postes pluviométriques, montre que si la période 1985-1996 présente un léger déficit par rapport à la moyenne, la séquence 1997-2003 majoritairement excédentaire précède une phase pluviométrique de courte durée (2004-2006) légèrement déficitaire. De même, la phase 2007-2012 comporte surtout des années pluviométriques excédentaires. Au total, les précipitations de la région, sur la période 1985-2012, sont majoritairement excédentaires. Dans le détail, la région recueille en moyenne 2100 mm /an ; 2290 mm à Rabi Kounga et 2093 mm à l'aéroport de Gamba. Ce volume de précipitations, relativement important, contribue, en partie, au maintien de la faible variabilité (**Figures 11 a et b**), ou la quasi-stabilité, notamment entre 2004 et 2017, des hauteurs (**Figure 6**) et de la superficie (**Figures 7, 8, 9**) du lac Mandza.

Ces résultats reposent sur l'exploitation des données de deux postes pluviométriques, ce qui pourrait poser un problème de représentativité géographique compte tenu de la distance par rapport au lac. Ne pouvant procéder à une interpolation spatiale à partir de deux points d'observations, nous avons utilisé en complément des estimations satellitaires pour le point de grille où se situe le lac Mandza afin de conforter notre diagnostic. Ces estimations ont été extraites du site *Climate Explorer*. Il s'agit des cumuls pluviométriques annuels du point le plus proche (10.25 E, 2°8 S) du lac Mandza dans les jeux de données CHIRPS et IMERG (parmi les plus fiables et ayant la plus haute résolution spatiale). Pour la zone d'étude, si les données CHIRPS sont disponibles sur la période 1985-2012, celles d'IMERG sont plus courtes (2000-2012). L'analyse comparative entre l'indice pluviométrique régional et les données CHIRPS (**Figure 12 a**) et IMERG (**Figure 12 b**) sur les périodes communes (1985-2012 et 2000-2012) montre un biais négatif c'est-à-dire une sous-estimation des pluies estimées par rapport aux hauteurs d'eau recueillies dans les postes pluviométriques. Ainsi, la moyenne des précipitations annuelles de l'indice régional est de 2100 mm contre 1600 mm pour les données CHIRPS sur la période 1985-2012.

On constate également que la variabilité des différents jeux de données, presque semblables, se caractérise par une absence de tendance significative. Précisons tout de même que l'absence de tendance dans les cumuls de précipitations peut masquer certaines variations. Par exemple un article de Jiang et *al*. (2019) montre un allongement de la saison sèche d'hiver austral dans le Bassin du Congo, même si cela ne semble pas directement concerner la région du lac Mandza, en marge de leur zone d'étude.

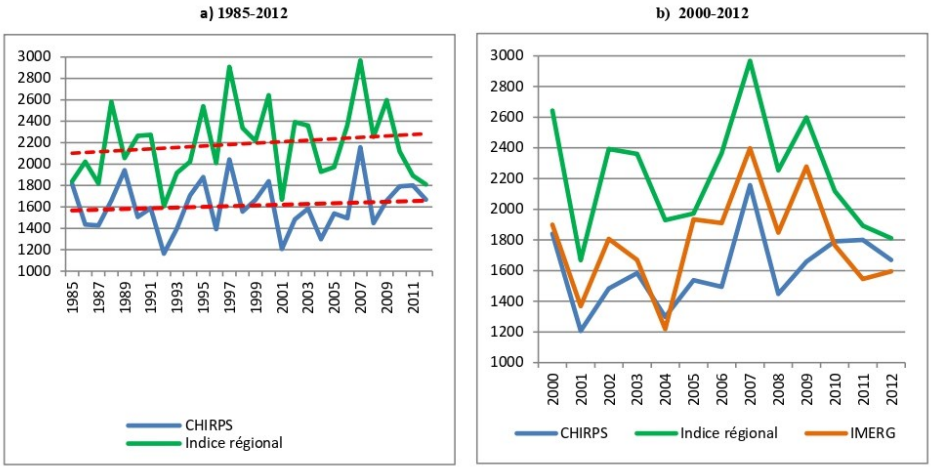



**Figure 12 :** Evolution comparée des cumuls pluviométriques annuels estimés (CHIRPS et IMERG) et mesurés (indice régional) autour du lac Mandza

De manière générale, dans la région du lac Mandza, la période pluvieuse s'étale d'octobre à mai à Rabi Kounga, et d'octobre à avril à Gamba, soit respectivement 8 mois pour la première station et 7 mois pour la seconde.

La saison sèche est donc dans la zone étudiée en moyenne plus longue que celle que l'on enregistre majoritairement au Gabon (3 mois). Les températures de surface de la mer (Atlantique sud) plus froides que celles enregistrées en moyenne au nord de l'équateur géographique (Maloba Makanga, 2015), auraient tendance à rallonger la durée de la stabilité de l'atmosphère. Si ce phénomène limite fortement la période favorable à la pluviogenèse au niveau de la station côtière de Gamba, celui-ci semble s'atténuer sur le continent, puisque le site pétrolier de Rabi Kounga, situé à l'intérieur des terres, connaît une saison sèche plus courte (**Figures 13**). Il s'agit ici d'une manifestation de l'inversion de la continentalité décrite par Litynski (1985).

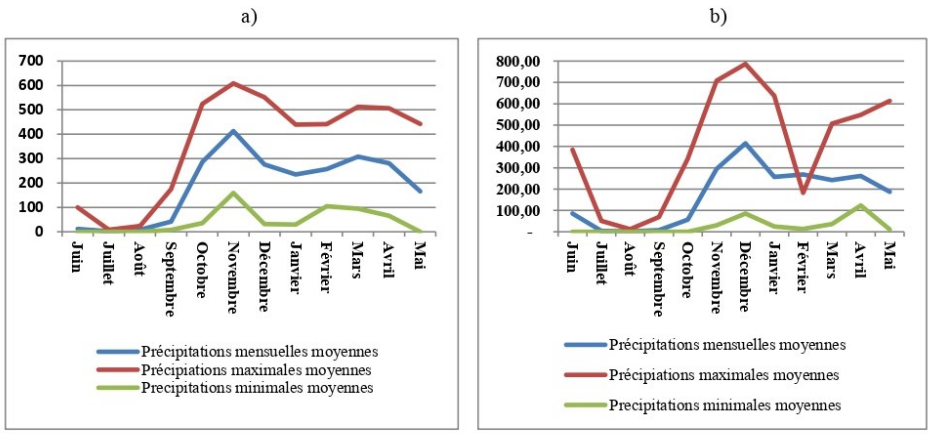



**Figure 13 :** Régimes pluviométriques des postes de Rabi Kounga (a) et Gamba (b)

Les travaux de Maloba Makanga (2010 et 2015) ont montré que les stations météorologiques synoptiques, situées le long du littoral sud du Gabon, ont enregistré des précipitations inférieures à 2000 mm (1980 mm à Port-Gentil et 1800 mm à Mayumba, sur la période 1951-1997). Comment expliquer alors que les postes pluviométriques de Gamba et Rabi Kounga, avec une saison sèche plus longue, enregistrent des précipitations annuelles supérieures à 2100 mm par an ?

En fait, si la zone d'étude présente une saison sèche particulièrement longue, elle se caractérise aussi, comme le laissent préfigurer les écarts entre les précipitations mensuelles maximales et minimales (**Figures 13**), par l'occurrence de forts abats pluviométriques à l'échelle journalière.

Une étude approfondie de la pluviométrie montre que la région du lac Mandza recueille des précipitations journalières singulièrement intenses (**Figures 14 a et b**) qui oscillent entre 100 mm et 191 mm, entre octobre et mai à Rabi Kounga. Mais c'est sur le littoral que le *maximum maximorum* a été enregistré en novembre 2006 et décembre 2007, soit 232 mm en 24h. En partant du principe que les précipitations intenses s'infiltrent peu et provoquent d'importants ruissellements, celles qui surviennent dans le périmètre du lac contribuent au même titre que les précipitations directes à la recharge de son bassin versant. Mais ces abats pluviométriques exceptionnels peuvent aussi favoriser, voire accentuer, le phénomène d'érosion qui affecte les berges du lac Mandza et contribuer ainsi à l'apport de sédiments dans le lac. Cette recherche met aussi en évidence une érosion ayant fait reculer les rives de ce lac sur des distances supérieures à 20 mètres sur la période 1987-2017. Cette modification morphologique est dans l'ensemble faible comparativement, par exemple, à la rive la plus érosive du lac Saint-Pierre au Canada qui a reculé d'environ 450 mètres en 30 ans.

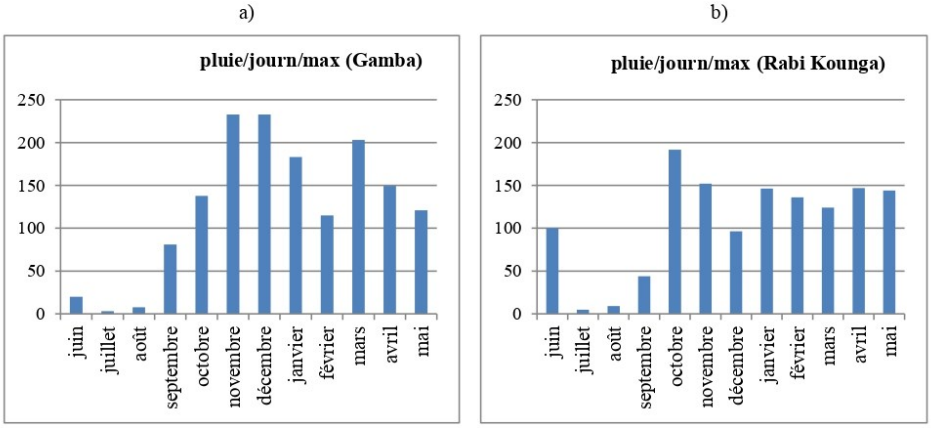



**Figure 14 :** Répartition des précipitations journalières maximales à Gamba et Rabi Kounga (1985-2012)

Les résultats de l'analyse des modifications hydro-morphologiques du lac Mandza, certes encourageants, ont néanmoins été obtenus à partir des images Landsat dont la précision est limitée par la résolution spatiale de celles-ci. En effet, les satellites Landsat disposent de 30 mètres de résolution dans le visible, même si celle-ci peut être améliorée à 15 mètres avec la bande panchromatique présente sur certains satellites Landsat comme Landsat 5 TM. Dans les faits, l'amélioration des produits Landsat est attachée au lancement de Landsat 9, prévu pour septembre 2021. Celui-ci devrait fournir des images de 30 mètres de résolution avec une répétitivité de huit jours contre seize jours actuellement. Cependant, pour des études hydro-morphologiques sur des territoires lacustres aussi peu étendus que le lac Mandza, les produits

générés par les satellites lancés depuis 2015 par l'Agence Spatiale Européenne, demeurent la meilleure perspective en termes de résolution spatiale et temporelle. En effet, les images Sentinel 2 disposent d'une résolution de 10 mètres pour une répétitivité de cinq jours (Centre National d'Études Spatiales, 2017). De plus, ces données sont accessibles gratuitement au grand public.

**Conclusion**

L'analyse de l'évolution hydro-morphologique du lac Mandza situé au sud-ouest du Gabon dans une zone d'accès difficile ne comportant, de surcroît, aucune station de mesures *in situ* de paramètres environnementaux, a nécessité l'emploi des techniques adaptées à ce type de milieu.

Ainsi, l'exploitation de données satellitaires concernant trois images Landsat de la saison sèche des années 1987, 2004 et 2017, a permis, d'une part, d'extraire des données sur les variables « profondeur » et « superficie ou étendue » du lac Mandza et, d'autre part, de détecter les bordures affectées par l'érosion et de déterminer le recul, par endroits, des berges du lac.

Les données de terrain concernent aussi bien la mesure de la profondeur en divers secteurs du lac, qu'une enquête socio-économique dont les résultats et analyses feront l'objet d'une autre publication. La région dispose de deux postes pluviométriques (Gamba aéroport et Rabi Kounga) dont les données journalières de la période 1985-2012 ont fait l'objet ici d'une exploitation minutieuse.

De la confrontation de ces données, il ressort qu'entre 1987 et 2017, même si la hauteur d'eau du lac a continuellement baissé, cette décrue demeure dans l'ensemble très faible. L'analyse comparative de l'évolution de la superficie, sur la même période, montre aussi une faible diminution de l'étendue des eaux du lac. Ces deux résultats sont tout à fait cohérents. Cette dynamique hydrologique marquée par la baisse des hauteurs et de la superficie des eaux du lac, certes de faible ampleur, a eu pour conséquence l'émergence et donc l'extension des berges sableuses dans des secteurs ayant connu un retrait des eaux de surface du lac. Ces secteurs exondés du lac Mandza subissent une érosion régressive plus marquée à l'embouchure de certains cours d'eau.

Cette étude a cherché également à vérifier si les variations hydrologiques qui ont conditionné les modifications morphologiques sont conformes ou non à la variabilité pluviométrique dans la mesure où l'alimentation en eau du lac Mandza dépend d'abord des précipitations directes. Il ressort de cette approche que la région se particularise par l'existence d'une saison sèche plus longue que celle qui est observée dans la plus grande partie du pays. C'est ainsi que la région étudiée (avec plus de 2000 mm/an) se singularise par une concentration de précipitations entre les mois d'octobre et mai dont certains abats peuvent excéder 200 mm en 24 heures. Mais la variabilité des précipitations dans cette zone se caractérise par une alternance d'anomalies positives et négatives sans tendance particulière. Ce résultat permet de mieux comprendre la faible variation des paramètres « profondeurs » et « superficie » du lac Mandza.

Toutefois, ces premiers résultats obtenus à partir d'une approche méthodologique, inédite pour des études concernant la limnologie au Gabon, devraient être approfondis à partir notamment de l'établissement d'un bilan hydrologique lacustre qui évaluerait les apports par ruissellement sur l'ensemble du bassin versant du lac, ainsi que les apports par écoulement hypodermique. De même, une analyse plus fine de la sédimentation actuelle au fond du lac pourrait apporter un complément d'informations dans la compréhension du processus de comblement du lac.

Il s'agit là d'un certain nombre de pistes qui peuvent servir de matrice à un projet de recherche du Laboratoire d'Analyse Spatiale et des Environnement tropicaux (LANASPET) de l'Université Omar Bongo. Celui-ci devrait, à terme, conduire les chercheurs à procéder à quelques mesures de paramètres environnementaux et aux prélèvements de divers échantillons à l'intérieur et autour du lac Mandza.

**Références bibliographiques**


- BEGNI G., ESCAFADAL R., FONTANNAZ D., HONG-NGA NGUYEN A., BENNOUNA T., CORNET A., DELAITRE E., MAINGUET M., TOUTAIN B. (2005). « La télédétection : un outil pour le suivi et l'évaluation de la désertification », *Comité Scientifique Français de la Désertification (CSFD)*, n°2, 12-21.

- CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES (CNES). (2017). Sentinel 2 : *des vues de la Terre d'une qualité radiométrique sans précédent*, https://sentinel2.cnes.fr/fr

- CHAMAILLE L. (2008). *Apport de la télédétection pour la détection de l'eau et la caractérisation des propriétés de l'eau. Application de la télédétection à l'étude des facteurs des risques liés à l'eau par la survie du virus H5N1 dans l'environnement*, Rapport de stage, Toulouse, CIRAD, 78 p.

- CHEVALLIER L., MAKANGA J.F., THOMAS R.J. (2002). *Carte géologique de la République Gabonaise à 1/ 1 000 000. Notice explicative*, Prétoria, Council for Géoscience, 65 p.

- COUZY A. (1981). La télédétection. Paris, Presses Universitaires de France, « Que sais-je ? », n°1919, 140 p.

- GROUPE D'EXPERTS INTERGOUVERNEMENTAL SUR L'EVOLUTION DU CLIMAT (GIEC). (2013). *Changements climatiques 2013, Les éléments scientifiques*, Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du GIEC, Cambridge, Cambridge University Press.

- HANCOCK M. (2015). *Predicting water quality by relating secchi disk transparency depths to Landsat 8*, Master of Science, Department of Geography, Indiana University, 44 p.

- HOUEHOUNHA D.H.M. (2015). *La pression de la pêche artisanale sur le fleuve Nyanga au Gabon,* Sarrebruck, Editions Universitaires Européennes, 67 p.

- HUANG J., XU Q., XI B., WANG X. , JIA K., HUO S., SU J., ZHANG T., LI C. (2014). «Effects of lake-basin morphological and hydrological characteristics on the eutrophication of shallow lakes in eastern China», *Journal of Great Lakes Research,* 40, 3, 666-674.

- Jiang Y., Zhou L., Tucker C.J., Raghavendra A., Hua W., Liu Y. Y., Joiner J., (2019). « Widespread increase of boreal summer dry season length over the Congo rainforest», *Nature Climate Change*, Vol. 9, 617-622.

- KODJA D.J., VISSIN E. W., AMOUSSOU E., BOKO M. (2013). « Risques hydroclimatiques et problèmes d'aménagement agricoles dans la basse vallée de l'Ouémé à Bonouau Bénin (Afrique de l'ouest) », XXVI$^{ème}$ Colloque, *Association Internationale de Climatologie*, pp. 310-315.

- LITYNSKY J., 1985. « Climats régionaux et locaux des régions occidentales de l'Afrique équatoriale », *in Climatologie Tropicale et Etablissements Humains*, Actes du Symposium, n°23, pp. 447-464.

- LU S., OUYANG N., WU B., WEI Y., TESEMMA Z. (2013). «Lake water volume calculation with time series remote-sensing images», *International Journal of Remote Sensing,* Vol. 34, 7962- 7973.

- MAINGUET M. (1990). « La télédétection et le suivi écologique : outils d'une nouvelle géographie », *Travaux de l'Institut de Reims*, n°79-80, 83-102.

- MALOBA MAKANGA J.D. (2010). *Les précipitations au Gabon, climatologie analytique en Afrique*, L'Harmattan, Paris, 144 p.

- MALOBA MAKANGA J.D. (2012). *Cours d'initiation à l'hydrologie continentale et marine*, Editions du CENAREST, Libreville, 160 p.

- MALOBA MAKANGA J.D. (2014). « A propos des prévisions météorologiques. Plaidoyer pour une amélioration des conditions d'observation des éléments du temps ». In Les enjeux et défis du Gabon au XXI$^{e}$ siècle. Réflexions critiques et prospectives des géographes, Editions Connaissance et Savoirs, Paris, 195-214.

- MALOBA MAKANGA J.D. (2015). « Variabilité pluviométrique de la petite saison sèche », *in Modélisations et Variabilités*, Actes du XXVIII$^{e}$ Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège (1$^{er}$-4 juillet), *pp.* 555-560.

- MALOBA MAKANGA J.D. (2017). « La problématique des catastrophes climatiques au Gabon : le cas des

inondations de la ville de Port-Gentil », *Revue semestrielle de l'IRSH*, *CENAREST*, n°19, 37-65.

- MBADINGA IGALY E., INDJIELEY M., MALOBA MAKANGA J.D., (2019). « Quelques indicateurs de vulnérabilité aux inondations dans le bassin-versant de l'Ogooué à Lambaréné ». XXXII[e] Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Thessalonique, 217-222.

- MBOUMBOU MAKANGA F.L. (2018). *Modifications environnementales dans une zone humide au sud-ouest du Gabon : cas du lac Mandza,* Mémoire de Master, Département de Géographie, Université Omar BONGO, 116 p.

- PUSHPARAJ J., HEGDE A. V. (2017). «Estimation of bathymetry along the coast of Mangaluru using Landsat-8 imagery», *International Journal of Ocean and Climate Systems*, Vol. 8 (2), 71-83.

- SHELL (2013). *Étude d'impact environnemental et social : exploitation de deux carrières de latérite dans les champs de Gamba et Ivinga,* Libreville, Rapport final, 96 p.

- STUMPF R. P., HOLDERIED K., SINCLAIR M. (2003). «Determination of Water Depth with High-Resolution Satellite Imagery over Variable Bottom Types», *American Society of Limnology and Oceanography*, Vol. 48 (1), 547-606.

- SYLVESTRE F., LEMOALLE J., FAVREAU G. (2012). «Vulnérabilité du lac Tchad = The vulnerability of the water of lake Chad to climate». In: Pouyaud B., Servat E. and Chevallier P. (éds). *L'eau au coeur de la science = Water at the heart of science*. Marseille, IRD, pp. 96-97.

- WEHRLING Y. (2015). Le changement climatique c'est maintenant ! Editions Belvédère, Strasbourg, 192 p.

- WORLD WILDLIFE FUND (WWF). (1997). *Méthode Active de Recherche Participative (MARP) dans la Basse-Nyanga*. Rapport d'activité, Gabon, 39 p.

## Liste des figures

Figure 1: Localisation des sites Ramsar inscrits par le Gabon ..... 6
Figure 2: Localisation du Site Ramsar du Bas Ogooué ..... 8
Figure 3: Organigramme méthodologique ..... 15
Figure 4: représentation de l'organisation des zones humides selon l'approche PEE (d'après Mérot et al., 2006). ..... 32
Figure 5: Liens entre la biodiversité, la production de biens et services écologiques et les bénéfices retirés par l'Homme ..... 34
Figure 6: Réseaux de de services fournis par les écosystèmes ..... 35
Figure 7: Cadre intégré de l'estimation de la valeur monétaire des écosystèmes naturels ..... 37
Figure 8: Le cadre conceptuel de la valeur économique totale des écosystèmes naturels ..... 39
Figure 9: Grandes structures géologiques du Bas Ogooué ..... 52
Figure 10: Esquisse géologique du Site Ramsar Bas Ogooué ..... 53
Figure 11: Répartition des sols dans le Site Ramsar du Bas Ogooué ..... 57
Figure 12: Sections du complexe deltaïque de l'Ogooué ..... 58
Figure 13: Topographie de la basse vallée de l'Ogooué ..... 59
Figure 14: Quelques îlots sur l'Ogooué et la Ngounié ..... 60
Figure 15: Topographie de la plaine deltaïque supérieure à l'intérieur du Site Ramsar du Bas Ogooué ..... 62
Figure 16: Hydrographie du Site Ramsar Bas Ogooué ..... 65
Figure 17: La pluviométrie annuelle moyenne dans le site Ramsar du Bas Ogooué ..... 71
Figure 18: Carte administrative de la région du Site Ramsar du Bas Ogooué ..... 74
Figure 19: Sites agroindustriels pour présents dans le Site Ramsar du Bas Ogooué ..... 78
Figure 20: Permis forestiers dans le Site Ramsar du Bas Ogooué ..... 80
Figure 21: Permis miniers dans le Site Ramsar du Bas Ogooué ..... 82
Figure 22: Blocs pétroliers dans le Site Ramsar du Bas Ogooué ..... 83
Figure 23: Différenciation entre un MNS et un MNT ..... 101
Figure 24 : Un MNS hydrologiquement correct aux allures lissées avec la commande « Fill » ..... 104
Figure 25: Résultat de la commande "*Flow direction*" ..... 105
Figure 26: la direction et l'accumulation de l'écoulement ..... 105
Figure 27: Résultat de la commande "Flow accumulation" ..... 106
Figure 28: Résultat de la commande "*Con*" ..... 107
Figure 29: Schéma des liens dans un réseau d'écoulement ..... 107
Figure 30: Liens générés à partir de la commande « *Stream Link* » ..... 108
Figure 31: Réseau hydrographique du site Ramsar du Bas Ogooué ..... 110
Figure 32: Drain épousant les forme du tawleg (A) contre des tronçons rectiligne dans le lac Ovowé et ses marécages (B) ..... 110
Figure 33: Chenal principal sur la rivière Mboulé (A), Chenal méandriforme sur la rivière Mboumi (B) et chenaux anastomosés sur l'Ogooué (C) ..... 111

Figure 34: les huit classifications descriptives des réseaux de drainage (Howard, 1967) .....112
Figure 35: Classification descriptive du réseau hydrographique du site Ramsar du Bas Ogooué.....112
Figure 36 : Bassin versants dans le site Ramsar du Bas Ogooué.....113
Figure 37: Répartition des cours d'eau par paysage dans le site Ramsar du Bas Ogooué .....114
Figure 38: Réseau hydrographique par unité d'occupation du sol dans le site Ramsar du Bas Ogooué.....115
Figure 39: Répartition du réseau de drainage par rapport au relief dans le site Ramsar du bas Ogooué.....116
Figure 40: Part des drains par rapport aux valeurs d'altitude dans le site Ramsar du bas Ogooué.....116
Figure 41: Répartition du réseau de drainage par rapport aux lithofaciès dans le site Ramsar du Bas Ogooué.....117
Figure 42: Réseau de drainage selon les types de sols.....118
Figure 43: Occupation du sol du site Ramsar du Bas Ogooué.....128
Figure 44: Ensemble des plans d'eau tirés à partir de l'occupation des sols dans le site Ramsar du Bas Ogooué.....130
Figure 45: Catégorisation par taille des eaux libres dans le site Ramsar du Bas Ogooué .....132
Figure 46: Les trois étapes de la méthode FAP (Maltby, 2009), tiré de Rapinel S., 2012. .....138
Figure 47: Schéma théorique de délimitation des unités géomorphologiques (HGMU) 139
Figure 48: Compartiments de la zone humide selon Mérot et *al.* (2006) .....141
Figure 49: Délimitation des zones humides dans le site Ramsar du Bas Ogooué .....142
Figure 50: Production des ortho-photos de quelques zones humides du site Ramsar Bas Ogooué.....143
Figure 49: Part des différentes unités hydrogéomorphologiques dans le site Ramsar du Bas Ogooué.....144
Figure 50: Configuration spatiales des HGMU dans la zone humide du site Ramsar du Bas Ogooué.....144
Figure 53 : Fossés d'écoulement dans le site Ramsar du Bas Ogooué.....158
Figure 54: Densité des fossés d'écoulement dans le site Ramsar du Bas Ogooué .....159
Figure 55 : Répartition des éléments boisés dans le site Ramsar du Bas Ogooué.....161
Figure 56 : Densité des éléments boisés dans le site Ramsar du Bas Ogooué.....161
Figure 57 Voies de communication dans le site Ramsar du Bas Ogooué.....163
Figure 58 : Densité de voies de communication terrestres .....164
Figure 59 : contact entre la zone humide et le versant par type de linéaire dans le site Ramsar du Bas Ogooué.....166
Figure 60 : Écrêtage des crues .....167
Figure 61 : Soutien aux étiages dans le site Ramsar du Bas Ogooué .....168
Figure 62 : Dénitrification potentielle dans le site Ramsar du Bas Ogooué.....169

Figure 63 : Biodiversité potentielle ..... 170
Figure 64 : Répartition des classes d'intérêt fonctionnel des zones humides ..... 171
Figure 65 : Répartition des relevés de la biodiversité dans le site Ramsar du Bas Ogooué ..... 174
Figure 66 : Répartition du nombre d'espèces par type biodiversité dans le site Ramsar du Bas Ogooué ..... 175
Relie les Figure 67 : Répartition des espèces à travers les zones d'habitat potentiel dans le site Ramsar du Bas Ogooué ..... 175
Figure 68 : Répartition des villages dans la zone humide du site Ramsar du Bas Ogooué ..... 177
Figure 69 : pipelines de la société Maurel & Prom au sud du lac Ezanga ..... 178
Figure 70 : Répartition du carbone dans le site Ramsar du Bas Ogooué ..... 179
Figure 71 : Valeur écologique potentielle du site Ramsar du Bas Ogooué ..... 181
Figure 72: Zone importante pour les mammifère (en rose) et les deux réserves proposées par l'UICN en 1990 (in Vande Weghe J.P. et Stévart T., 2017) ..... 182
Figure 73: Répartition des zones de conservation dans le site Ramsar du Bas Ogooué 185
Figure 74: Zones de conservation de Lambaréné ..... 186
Figure 75 : Topographie du site de Lambaréné ..... 188
Figure 76 : Occupation du sol du site de Lambaréné ..... 189
Figure 77 : Processus fonctionnel du site de Lambaréné ..... 190
Figure 78 : de la zone du lac Azingo ..... 191
Figure 79 : Topographie de la zone du lac Azingo ..... 193
Figure 80 : Principaux habitats du de la zone du lac Azingo ..... 194
Figure 81 : Processus fonctionnel de la zone du lac Azingo ..... 195
Figure 82 : Zone de la rivière Mbiné ..... 196
Figure 83 : Topographie de zone de la rivière Mbiné ..... 197
Figure 84 : Occupation du sol de la zone de la rivière Mbiné ..... 198
Figure 85 : Processus fonctionnel de la zone de la rivière Mbiné. ..... 199
Figure 86 : Zone d'Ebel Abanga ..... 200
Figure 87 : Topographie de la zone d'Ebel Abanga ..... 202
Figure 88 : Occupation du sol de la zone d'Ebel Abanga ..... 203
Figure 89 : Processus fonctionnel de la zone d'Ebel-Abanga ..... 204
Figure 90. Zone de la rivière Ngounié aval ..... 205
Figure 91 : Occupation du sol de la zone de la rivière Ngounié Aval ..... 206
Figure 92 : Topographie de la zone de la rivière Ngounié Aval ..... 207
Figure 93 : Processus fonctionnel dans de la zone de la rivière de Ngounié aval ..... 208
Figure 94 : zone du lac Evaro ..... 209
Figure 95 : Occupation du sol site de la zone du lac Evaro ..... 210
Figure 96 : Topographie de la zone du lac Evaro ..... 211
Figure 97 : Processus fonctionnel dans la zone du lac Evaro ..... 212
Figure 98 : Zone du lac Oguémoué ..... 213
Figure 99 : Occupation du sol dans la zone du lac Oguémoué ..... 214
Figure 100 : Topographie de la zone du lac Oguémoué ..... 215

Figure 101 : Processus fonctionnel dans la zone du lac Oguémoué .....216
Figure 102 : Zone de Rembo Ouango.....217
Figure 103 : Occupation du sol de la zone de Rembo Ouango.....218
Figure 104 : Topographie de la zone de Rembo Ouango .....218
Figure 105 : Processus fonctionnel dans le site d'Ouango .....219
Figure 107 : Zone du lac Alombiè.....220
Figure 107 : Occupation du sol de la zone du lac Alombié .....221
Figure 108 : Topographie de la zone du lac Alombié.....222
Figure 109 : Processus fonctionnel dans la zone du lac Alombié .....223
Figure 110 : Zone d'Obando .....224
Figure 111 : Occupation du sol de la zone d'Obando .....225
Figure 112 : Topographie de la zone d'Obando.....226
Figure 113 : Processus fonctionnel dans la zone d'Obando.....227
Figure 114: Concessions forestières présentes dans le site Ramsar du Bas Ogooué.....230
Figure 115: Répartition des superpositions entre concessions forestières et zones de conservation dans le site Ramsar du Bas Ogooué .....232
Figure 117: Distribution des aires de superposition .....232
Figure 117: Répartition des permis miniers dans le site Ramsar du Bas Ogooué.....233
Figure 118: Parcelles agro-industrielles dans le site Ramsar du Bas Ogooué.....234
Figure 119: Espaces affectés dans le Site Ramsar du Bas Ogooué .....235
Figure 120: Blocs pétroliers et permis d'exploitation pétrolière dans le site Ramsar du Bas Ogooué.....236
Figure 121: Superpositions des concessions industrielles .....237
Figure 122: Répartition des éléments d'occupation du sol dans la CFAD HUAJA.....238
Figure 123: Ocupation du sol dans la Réservation GSEZ dans la zone de la rivière Mbiné .....239
Figure 125: Répartition des éléments d'occupation du sol dans la réservation GSEZ dans la zone de la rivière Mbiné.....240
Figure 126: Occupation du sol dans la Réservation GSEZ entre L'Ogooué et l'Ouango .241
Figure 127: Répartition des éléments d'occupation du sol dans la réservation GSEZ proche de Lambaréné.....242
Figure 128: Occupation du sol dans la Réservation GSEZ proche de Lambaréné.....243
Figure 129: Répartition des éléments d'occupation du sol dans la CFAD OUSSAVOU ....244
Figure 130: Occupation du sol dans la CFAD OUSSAVOU .....245
Figure 131: Répartition des éléments d'occupation du sol dans la CPAET TBF.....246
Figure 132: Os dans la CPAET TBF .....246
Figure 133: Espace de développement urbain et d'usages communautaires dans le site Ramsar du Bas Ogooué.....250
Figure 134: Zones de conservation et espaces *non aedificandi* dans le site Ramsar du Bas Ogooué.....253
Figure 135: Transect du zonage du site Ramsar du Bas Ogooué .....254
Figure 136: Zonage du site Ramsar du Bas Ogooué avec les lieux habités .....256
Figure 137: Zonage du site Ramsar du Bas Ogooué .....257

## Liste des photos

Photo 1: Un jardin en périphérie de Lambaréné ..... 88
Photo 2: Saisie de gibiers effectuée par les écogardes du site Ramsar ..... 89
Photo 3: Contraste entre des habitations et une population de papyrus au quartier Atongowanga ..... 187
Photo 4: Prairie flottante sur la rivière Oronga ..... 192
Photo 5: Contraste entre les eaux noires du lac Nguéné (en haut) et les eaux brunes de la rivière Abanga (en bas) ..... 201
Photo 9: Forêt marécageuse dans la zone du lac Alombié ..... 221
Photo 7: Marais au sud de la zone d'Obando ..... 225

## Liste des planches

Planche 1: Hippopotame au bord de l'Ogooué, en aval de Lambaréné (a) et sterne pierregarin (*Sterna hirundo*) au vol en juillet 2014 dans le delta lacustre de la rivière des Pélicans (b) ..... 9
Planche 2: Photos diffusées sur les réseaux sociaux, à la suite de l'incident qui s'est produit sur le site d'Onal ..... 84
Planche 3:Vedettes accostées au port fluvial de Lambaréné (A) et transport de grumes sur le fleuve Ogooué (B) ..... 85
Planche 3 : Signe de passage d'un éléphant au village Aschouka : vue d'une empreinte (photo A) et d'une crotte (photo B) ..... 87
Planche 3: MNS original (photo A) et MNS inversé (photo B) ..... 102

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Descripteurs utilisées dans l'analyse des fonctions et des zones à haute valeurs de conservation ..... 18
Tableau 2: Les différents types de zones humides selon la Convention RAMSAR ..... 29
Tableau 3: Les fonctions, effets et valeurs socio-économiques correspondantes des zones humides ..... 31
Tableau 4: Liste de lacs du bassin intérieur de l'Ogooué et leurs superficies ..... 66
Tableau 5: Quelques espèces menacées dans le site Ramsar Bas Ogooué ..... 67
Tableau 6: Quelques familles de poissons dans le site Ramsar Bas Ogooué ..... 68
Tableau 7: outils et matériels utilisés pour la mise à jour du réseau hydrographique du site Ramsar du Bas Ogooué ..... 100
Tableau 8: Matrice de confusion du réseau hydrographique généré ..... 109
Tableau 9: Les principaux cours d'eau du site Ramsar du Bas Ogooué ..... 113
Tableau 10: images utilisées ..... 122
Tableau 11: Bandes spectrales d'une image Sentinel 2 ..... 122
Tableau 12: Classes retenues pour l'occupation du sol ..... 125
Tableau 13: Information quantitative sur les classes d'occupation du sol du site Ramsar du Bas Ogooué ..... 127
Tableau 14: Matrice de confusion ..... 129
Tableau 15:Lacs du site Ramsar du Bas Ogooué ..... 131
Tableau 16 : Données, outils et matériels utilisés au bureau ..... 136
Tableau 17 : Données, outils et matériel utilisés sur le terrain ..... 136
Tableau 18 :Résultat du calcul du coefficient Kappa ..... 143
Tableau 19: Descripteurs linéaires ..... 151
Tableau 20: Descripteurs surfaciques ..... 151
Tableau 21: Indicateurs utilisés pour évaluer la fonction écrêtage des crues ..... 153
Tableau 22: Indicateurs utilisés pour évaluer la fonction « soutien aux étiages » ..... 154
Tableau 23: Indicateurs utilisés pour évaluer la fonction « dénitrification potentielle » ..... 155
Tableau 24: Indicateurs utilisés pour évaluer la fonction « habitat potentiel » ..... 156
Tableau 25 : Part des éléments boisés dans le site Ramsar du Bas Ogooué ..... 160
Tableau 26 : Part de voies de communication terrestres dans le site Ramsar du Bas Ogooué ..... 162
Tableau 27 : Mesure type de limite dans le site Ramsar du Bas Ogooué ? ..... 165
Tableau 28: Indicateurs utilisés pour définir les zones de conservation ..... 173
Tableau 29: Zone de conservation dans le site Ramsar du Bas Ogooué ..... 183
Tableau 30 : Superpositions observées entre concessions forestières et zones de conservation dans le site Ramsar du Bas Ogooué ..... 231
Tableau 31: Liste des concessions en inadéquation dans la forme ..... 238
Tableau 32 : Règles de gestion participative proposée dans le site Ramsar du Bas Ogooué ..... 258

# TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACES ..... iii
REMERCIEMENTS ..... vi
LISTE DES SIGLES ET ABREVIAIONS ..... viii
SOMMAIRE ..... iii
INTRODUCTION GENERALE ..... 1
1. Contexte et justification de la recherche ..... 2
2. Localisation de la zone d'étude ..... 6
3. Approche problématique ..... 10
3.1. Etat de l'art ..... 10
3.2. Problématique de la recherche et champ de l'étude ..... 11
4. Objectif de l'étude ..... 13
5. Hypothèses de recherche ..... 13
6. Approche méthodologique ..... 14
6.1. Délimitation de la zone humide et des unités hydrogéomorphologiques ..... 15
6.2. Détermination des fonctions et zonage du site Ramsar du Bas Ogooué ..... 17
7. Difficultés rencontrées ..... 19
8. Structure de la thèse ..... 19
PREMIERE PARTIE : INTRODUCTION AUX CONCEPTS DE LA RECHERCHE ET CARACTERISTIQUES ENVIRONNEMENTALES DU SITE D'ETUDE ..... 21
CHAPITRE 1 : LES FONCTIONNALITES ET LE ZONAGE DES ZONES HUMIDES ..... 23
1.1. Généralité des zones humides ..... 23
1.1.1. Qu'entend-on par zone humide ? ..... 23
1.1.2. Enjeux de conservation des zones humides ..... 25
1.1.3. Typologie des zones humides ..... 27
1.2. Fonctions, services et valeurs ..... 29
1.2.1. Les fonctions d'une zone humide ..... 29
1.2.2. Typologie fonctionnelle et évaluation des fonctions ..... 32
1.2.3. Les notions de services rendues par les zones humides ..... 33
1.2.4. Valeurs retirées des zones humides ..... 36
1.3. Cartographie et zonage des zones humides ..... 41
1.3.1. Inventorier les zones humides ..... 41
1.3.2. Évaluation fonctionnelle des zones humides ..... 43

1.3.3. Apports des outils SIG dans la délimitation et l'évaluation des zones humides ..... 46
CHAPITRE 2 : CARACTÉRISTIQUES BIOPHYSIQUES DE LA ZONE D'ÉTUDE ..... 51
2.1. Caractéristiques géologiques et pédologique du Site Ramsar ..... 51
2.1.1. Structure géologique du complexe ..... 51
2.1.2. Une histoire géologique liée à la formation de l'Océan Atlantique ..... 54
2.1.3. Les sols du Bas Ogooué ..... 56
2.2. Topographie et hydrographie ..... 57
2.2.1. Le complexe deltaïque compartimenté du Bas Ogooué ..... 57
2.2.2. Un territoire dominé par l'Ogooué ..... 63
2.2.3. Réseau des lacs permanents ..... 65
2.3. Biodiversité et climat ..... 67
2.3.1. La faune ..... 67
2.3.2. La flore ..... 68
2.3.3. Les éléments du climat ..... 70
CHAPITRE 3 : CARACTERISTIQUES SOCIOECONOMIQUES DU SITE D'ETUDE ..... 73
3.1. Cadres administratif, institutionnel et démographique ..... 73
3.1.1. Étendue administrative ..... 73
3.1.2. Cadre institutionnel et prise de décision ..... 74
3.1.3. Structure de la population ..... 76
3.2. Principales activités ..... 77
3.2.1. Les activités industrielles ..... 77
a. L'agro-industrie ..... 77
b. L'exploitation forestière et l'industrie du bois ..... 78
c. L'exploitation minière ..... 81
d. L'exploitation pétrolière ..... 83
e. Transport fluvial ..... 84
3.2.2. Les activités paysannes ..... 86
a. La pêche ..... 86
b. Les cultures vivrières ..... 86
c. La chasse ..... 88
d. Cueillette et arboriculture ..... 89
3.3. La présence des entités de la conservation ..... 90

3.3.1. La tutelle en matière de conservation ..... 90
3.3.2. Cadre législatif et mode de gestion ..... 91
3.3.3. Mesures de conservation et priorités de gestion ..... 92
Conclusion ..... 95
DEUXIEME PARTIE : ETUDE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE ET DELIMITATION DES ZONES HUMIDES DU SITE RAMSAR BAS-OGOOUE ..... 97
CHAPITRE 4 : DETECTION DES COURS D'EAU DANS LE SITE RAMSAR DU BAS OGOOUE ..... 99
4.1. Matériel et méthodes ..... 99
4.1.1. Outils et matériel ..... 99
4.1.2. Préparation d'un Modèle Numérique de Terrain corrigé pour l'hydrologie ..100
4.1.3. L'analyse hydrologique ..... 104
4.2. Résultats et analyse ..... 108
4.2.1. Validation des résultats ..... 108
4.2.2. Caractérisation du réseau hydrographique ..... 111
4.2.3. Le réseau hydrographique dans son environnement ..... 114
4.3. Interprétation des résultats ..... 118
CHAPITRE 5 : EXTRACTION DES ENTITES HYDROGRAPHIQUES SURFACIQUES DU SITE RAMSAR BAS OGOOUE ..... 121
5.1. Matériel et méthodes ..... 121
5.1.1. Le choix des images ..... 121
5.1.2. Prétraitements ..... 122
5.1.3. Traitement des images ..... 125
5.1.4. Prétraitements et validation ..... 125
5.2. Résultats ..... 126
5.2.1. Caractérisation de l'occupation spatiale ..... 126
5.2.2. Entités hydrographiques de surface dans le Bas Ogooué ..... 130
5.3. Interprétation des résultats ..... 133
CHAPITRE 6 : LA DELIMITATION DES ZONES HUMIDES DANS LE SITE RAMSAR DU BAS OGOOUE ..... 135
6.1. Matériel et Méthodes ..... 135
6.1.1. Données et matériel ..... 135
6.1.2. Approches pour la délimitation des milieux humides ..... 137
6.1.3. Délimitation des HGMU et des compartiments de la zone humide ..... 139

6.2. Résultats ..... 141
6.2.1. Délimitation des zones humides du site Ramsar du Bas Ogooué ..... 141
6.2.2. Délimitation des unités hydrogéomorphologiques (HGMU) ..... 143
6.3. Interprétation des résultats ..... 145
TROISIEME PARTIE : DE L'EVALUATION FONCTIONNELLE DES ZONES HUMIDES AU ZONAGES DU SITE RAMSAR DU BAS OGOOUE ? ..... 148
CHAPITRES 7 : EVALUATION FONCTIONNELLE DES ZONES HUMIDES ..... 150
7.1. Matériel et méthodes ..... 150
7.1.1. Définition et analyse des descripteurs ..... 150
7.1.2. Application aux fonctions écologiques ..... 152
7.2. Interprétation des résultats ..... 157
7.2.1. Evaluation des descripteurs ..... 157
7.2.2. Application aux fonctions écologiques ..... 167
7.2.3. La biodiversité potentielle ..... 169
CHAPITRE 8 : DEFINITION DES ZONES DE CONSERVATION DANS LE SITE RAMSAR DU BAS OGOOUE ..... 172
8.1. Matériel et méthodes ..... 173
8.2. Résultats ..... 174
8.2.1. Evaluation des descripteurs relatifs aux valeurs ..... 174
8.2.3. Les descripteurs relatifs aux services ..... 176
8.2.4. Définition des zones centrales ou dites de conservation ..... 180
8.3. Diagnostic des zones de conservation retenues ..... 186
8.3.1. Les zones de conservation de Lambaréné ..... 186
8.3.2. La zone de conservation du lac Azingo ..... 191
8.3.3. La zone de conservation de la rivière Mbiné ..... 196
8.3.4. La zone de conservation d'Ebel Abanga ..... 200
8.3.5. La zone de conservation de la rivière Ngounié aval ..... 205
8.3.6. La zone de conservation du lac Evaro ..... 209
8.3.7. La zone de conservation du lac Ogouémoué ..... 213
8.3.8. La zone de conservation du Rembo Ouango ..... 217
8.3.9. La zone de conservation du lac Alombiè ..... 220
8.3.10. La zone de conservation d'Obando ..... 223
CHAPITRE 9 : ETUDE DES AFFECTATIONS ACTUELLES ET ADEQUATION DES TERRES DANS LE SITE RAMSAR DU BAS OGOOUE ..... 229

9.1. Les affectations actuelles....229
9.1.1. Les permis forestiers....229
9.1.2. Les permis miniers d'exploitation....233
9.1.3. Les parcelles agro-industrielles....234
9.2. Inadéquation des affectations....235
9.2.1. Les superpositions....235
9.2.2. Les affectations inadéquates....237
9.3. Proposition de zonage du site Ramsar du Bas Ogooué....247
9.3.1. Les zones dédiées aux extensions urbaines et aux activités des communautés....247
9.3.2. Les zones de gestion intégrée....251
9.3.3. Les propositions de modes de gestion du site Ramsar du Bas Ogooué....253
CONCLUSION GENERALE....264
BIBLIOGRAPHIE....272
1. Ouvrages, rapports et divers....272
2. Articles....279
3. Pages en ligne....284
4. Lois et règlements....289
5. Documentation cartographique....289
ANNEXES....290
ANNEXES A : Points de validation du réseau hydrographique....291
ANNEXE B : Photos....295
ANNEXE C : publication....296
Liste des figures....312
Liste des photos....316
Liste des planches....317
Liste des tableaux....318
TABLE DES MATIÈRES....319

**Contribution de la géomatique à la gestion durable du site Ramsar Bas Ogooué**

**Résumé :** La problématique soulevée par ce travail est celle de la gestion intégrée des sites Ramsar, dans le contexte où plusieurs d'entre eux font intervenir sur le même espaces plusieurs acteurs aux intérêts variés, voir divergents. Le Site Ramsar Bas Ogooué apparait comme un site de premier choix au Gabon, compte-tenu de son étendue et la riche biodiversité qui cohabite pourtant avec de nombreux lieux habités et exploitants industriels. L'analyse des fonctions, services et valeurs de la zone humide du site Bas Ogooué nous a permis d'obtenir un plan de zonage qui tient compte des enjeux de développement et de conservation. Ce plan de zonage se compose de trois grandes zones : les zones de transitions, qui correspondent aux zones qui font l'objet d'affectation industrielles ; Les zones centrales, qui correspondent aux zones humides à haute valeur de conservation ; et les zones tampons qui sont les zones humides comprises entre les zones de transition et les zones centrales. Enfin, ce travail propose un mode de gestion participatifs du site, afin d'impliquer toutes les forces et communautés dans un processus d'éducation environnementales et de développement durable des territoires.

**Mots clés :** Géomatique, zone humide, site Ramsar, affectations, conservation, zonage, Bas Ogooué

**Contribution of geomatics to the sustainable management of the Bas Ogooué Ramsar site**

**Abstract:** The issue raised by this work is that of the integrated management of Ramsar sites, in the context where several of them involve in the same space several actors with varied, even divergent, interests. The Lower Ogooué Ramsar Site appears to be a site of first choice in Gabon, given its size and the rich biodiversity which nevertheless coexists with many inhabited places and industrial operators. The analysis of the functions, services and values of the wetland of the Lower Ogooué site enabled us to obtain a zoning plan that takes into account development and conservation issues. This zoning plan is made up of three main zones: the transition zones, which correspond to the zones which are subject to industrial allocation; Core areas, which correspond to wetlands with high conservation value; and the buffer zones which are the wetlands between the transition zones and the core zones. Finally, this work proposes a participatory mode of management of the site, in order to involve all the forces and communities in a process of environmental education and sustainable development of the territories.

**Keywords:** Geomatics, wetland, Ramsar site, allocations, conservation, zoning, Lower Ogooué

Laboratoire d'Analyse Spatiale et des Environnement Tropicaux
Université Omar BONGO, 680 avenue Président Léon MBA, Libreville, Gabon