



**HAL**  
open science

## Suivi des changements spatiaux et environnementaux dans les mangroves de la province de l'Estuaire du Gabon

Marjolaine Okanga-Guay, Emmanuel Ondo Assoumou, Igor Akendengue Aken, Cédric Mpie Simba, Jean-Bernard Mombo, Médard Obiang Ebanega, Michel Mbadinga, Laetitia Rogombe, Dieudonné Mouketou-Tarazewicz

### ► To cite this version:

Marjolaine Okanga-Guay, Emmanuel Ondo Assoumou, Igor Akendengue Aken, Cédric Mpie Simba, Jean-Bernard Mombo, et al.. Suivi des changements spatiaux et environnementaux dans les mangroves de la province de l'Estuaire du Gabon. Conférence OSFACO : Des images satellites pour la gestion durable des territoires en Afrique, Mar 2019, Cotonou, Bénin. hal-02189534

**HAL Id: hal-02189534**

**<https://hal.science/hal-02189534v1>**

Submitted on 19 Jul 2019

**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.

# Suivi des changements spatiaux et environnementaux dans les mangroves de la province de l'Estuaire du Gabon

OKANGA-GUAY Marjolaine <sup>(1,\*)</sup>, ONDO ASSOUMOU Emmanuel <sup>(1)</sup>, AKENDENGUE  
AKEN Igor <sup>(1)</sup>, MPIE SIMBA Cédric <sup>(1,2)</sup>, MOMBO Jean-Bernard <sup>(1)</sup>, OBIANG EBANEGA  
Médard <sup>(1)</sup>, MBADINGA Michel <sup>(1)</sup>, ROGOMBE Laetitia Guylia <sup>(1)</sup>, MOUKETOU-  
TARAZEWICZ Dieudonné <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Laboratoire de Géomatique, de Recherche Appliquée et de Conseil (LAGRAC), Département de  
Géographie, Université Omar Bongo, Libreville, Gabon

<sup>(2)</sup> UMR CITERES, Université François Rabelais de Tours, France

<sup>(\*)</sup> Auteur correspondant : OKANGA-GUAY, m\_okanga\_guay@yahoo.fr

## Résumé

Les mangroves du Gabon sont menacées par la dégradation et la déforestation. Dans ce contexte, a été étudiée la dynamique des mangroves de Libreville et sa région afin, d'une part, d'identifier les changements récents et prévoir les changements futurs et, d'autre part, de caractériser ces mangroves en termes de paramètres structuraux, physico-chimiques et floristiques. Couplant les méthodes de terrain et de télédétection, le projet « Modélisation de la dynamique des mangroves de Libreville et ses environs et des risques de leur dégradation » (MDMLERD) a recensé, dans l'ordre d'importance, *Rhizophora harrisonii*, *Rhizophora racemosa*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa*, *Conocarpus erectus* et *Phoenix reclinata* comme espèce accompagnatrice. La distribution des diamètres des individus montre une courbe dominée par des jeunes, dont la hauteur varie entre 0 et 5 m, et qui se répartissent sur toutes les zones. Les mangroves les plus hautes sont situées dans la partie est de l'estuaire du Komo et atteignent jusqu'à 55 m (mesure par télédétection), et à un peu plus de 70 m (mesure terrain). L'ensemble des quatre espèces principales totalisent 150 512 tonnes de biomasse aérienne, et une biomasse souterraine de 3 tonnes environ. Les mangroves de Libreville et ses environs sont dominées par les arbres encore en bonne santé (83,13%), alors que les mangroves dégradées restent faibles (16,87%). Dans l'ensemble, la mangrove a enregistré des gains de surface totalisant 49,71 km<sup>2</sup>, contre des pertes de 86,01 km<sup>2</sup>. La simulation de 2028 annonce la poursuite d'une perte de superficie. Cette étude a permis de développer une nouvelle méthodologie d'évaluation de l'état de santé des mangroves, de cartographier les espèces et les hauteurs, et de mettre en relief les dégradations, selon que l'on soit en face de processus naturels ou anthropiques.

**Mots clés :** Mangroves, Structure, Biomasse, Télédétection, Dynamique, Simulation, Gabon

## Abstract

Despite all the services they provide, Gabonese mangroves are threatened by degradation and deforestation. In this context, this study examines the mangroves dynamics of Libreville and its region (Gabon) in order to identify recent and predict future changes. But also to characterize these mangroves in terms of structural, physico-chemical and floristic parameters. Combining field and remote sensing methods, the project Modelling the dynamics of the Libreville mangroves and its surroundings and the risks of their degradation (MDMLERD) identified, in order of importance, *Rhizophora harrisonii*, *Rhizophora racemosa*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa*, *Conocarpus erectus* and *Phoenix reclinata*. The diameter distribution shows a dominance by young trees, whose height varies between 0 and 5 m. The highest mangroves are located in the eastern part of the Komo estuary and reach up to 55m (remote sensing measurement) and just over 70 m (field measurement). The four main species total 150 512 tons of aerial biomass and an underground biomass of approximately 3 tons. The mangroves of Libreville and its surroundings are dominated by healthy trees (83.13%) while degraded mangroves remain low (16.87%). Overall, the mangrove recorded surface gains totalling 49.71 km<sup>2</sup>, compared with losses of 86.01 km<sup>2</sup>. The 2028 simulation announces the continuation of area loss. This study led to the development of a new methodology for assessing the health status of mangroves, to the mapping of mangrove species and heights, and to highlighting the degradation resulting from natural or anthropogenic processes.

**Keywords:** Mangrove, Structure, Biomass, Remote Sensing, Dynamics, Simulation, Gabon

## 1. INTRODUCTION

Le changement climatique et ses manifestations (augmentation du niveau marin, érosion côtière, risques sur la population humaine, les infrastructures et les écosystèmes naturels) sont des préoccupations importantes au Gabon. En effet, face au changement climatique, la région côtière gabonaise, avec plus de 800 km, est vulnérable à l'augmentation du niveau marin et aux événements extrêmes. Les villes importantes y sont localisées, représentant 53% de la population du pays, soit quasiment 1 000 000 de personnes (RGPL, 2013). L'érosion provoque des dégâts importants à Libreville, et à Port-Gentil où la submersion marine est un problème préoccupant. La réponse a été vigoureuse en considérant les nombreuses décisions. De multiples initiatives ont été adoptées depuis 2000 : établissement du Code forestier, création des parcs nationaux couvrant 11% du territoire en 2001-2002, évaluation environnementale et sociale sectorielle du Programme sectoriel Forêt, Pêches et Environnement en 2005, Profil Environnemental Côtier en 2007, Plan National d'Action pour la Gestion Durable des Ressources Environnementales Marines et Côtières en 2010, Plan National Climat en 2010, Stratégie Nationale d'Adaptation du littoral face aux effets des Changements Climatiques en 2011.

Dans ce sens, les mangroves gabonaises, estimées à 2500 km<sup>2</sup> (Lebigre, 1983), consistent en de superbes zones tampons entre les environnements marins et terrestres. Elles contribuent à atténuer les effets du changement climatique à l'échelle locale, voire même au-delà. Elles fournissent un bon nombre de services écosystémiques. Les recherches récentes indiquent que les mangroves aériennes et subaériennes contribuent de façon majeure au stockage de carbone, élément qui alimente les changements climatiques. Les sols de cet écosystème, qui font l'objet des plus récentes publications (Ajonina *et al.*, 2014; Kaufman, 2014 et 2009; Cohen *et al.*, 2013; Fatoyinbo & Simard, 2013), sont composés de boue ou de vase et parfois de sable. Ils sont riches en carbone (1093 Mg C ha<sup>-1</sup> pour le nord Gabon ; Kauffman et Bhomia, 2017), nitrogène, méthane et matière organique.

Les mangroves fournissent d'autres services. Elles abritent une biodiversité importante (Field *et al.*, 1998; Nagelkerken *et al.*, 2008) et jouent le rôle essentiel de pouponnière de nombreuses espèces halieutiques (Manson *et al.*, 2005; Aburto-Oropeza *et al.*, 2008). Elles peuvent limiter l'érosion (Gedan *et al.*, 2011) et ont un effet de purification en filtrant les macro-déchets. Elles contribuent au cycle de l'eau et des nutriments (Allen *et al.*, 2007; Gleeson *et al.*, 2013). Dans les zones urbaines, elles servent d'éponge en absorbant les excès d'eau qui pourraient causer des inondations (Jain, 2006). Les mangroves agissent aussi comme barrières ou défenses côtières contre les tempêtes (Ghazali *et al.*, 2016) et l'augmentation du niveau marin dans certaines conditions (Lovelock *et al.*, 2015).

Dans l'optique d'aider à la gestion durable des mangroves, disposer de connaissances scientifiques de base est un impératif. Celui-ci conditionne le succès de toute initiative de conservation durable de ces écosystèmes sensibles. Or, en ce qui concerne le Gabon, les études concernant la mangrove et sa dynamique font défaut. De plus, malgré tous les services qu'elles rendent, les mangroves gabonaises

sont menacées par la dégradation et la déforestation résultant particulièrement des activités anthropiques. À l'échelle nationale, les mangroves ont perdu une surface estimée à 685 km<sup>2</sup> entre 1980 et 2005 (Howard, 2014) et 54 km<sup>2</sup> entre 2000 et 2010 (Ajonina *et al.*, 2016). Pourtant, dans les zones faiblement ou nullement impactées par les facteurs anthropiques, elles peuvent croître. En effet, dans certaines zones, elles ont augmenté en superficie, gagnant 324 km<sup>2</sup> entre 2000 et 2010 (Ajonina *et al.*, 2016).

Ainsi, connaître la dynamique des mangroves de Libreville et sa région a pour objectifs, d'une part, d'identifier les changements récents et prévoir les changements futurs et, d'autre part, de caractériser celles-ci en termes de paramètres structuraux, physico-chimiques et floristiques.

Mené par l'équipe du Laboratoire de Géomatique, de Recherche Appliquée et de Conseil de l'Université Omar Bongo du Gabon, le projet « Modélisation de la dynamique des mangroves de Libreville et ses environs et des risques de leur dégradation » (MDMLERD), apporte des connaissances géographiques, écologiques et socio-économiques sur ces écosystèmes.

## **2. DONNÉES ET MÉTHODES**

### **2.1. Zone d'étude**

Au Gabon, les mangroves se retrouvent dans cinq grands ensembles : les rives de l'estuaire du Rio Mouni, de la baie de la Mondah, de l'estuaire du Komo dans la partie septentrionale de la côte gabonaise, le delta de l'Ogooué au centre et, dans la partie méridionale, les berges des lagunes Nkomi, Iguéla, Ndougou et Banio (Lebigre, 1983) et à l'embouchure du fleuve Nyanga (MDMLERD). L'étude s'est focalisée sur les mangroves du Gabon septentrional (Figure 1), soit au nord-ouest du pays.

Libreville et ses environs se situe sur le bassin sédimentaire côtier. La région subit un climat de type équatorial avec un régime pluviométrique bimodal et une moyenne annuelle de 2870 mm de précipitations (MALOBA MAKANGA J. D., 2011). L'importance des pluies permet ainsi à l'agglomération et sa région d'avoir un réseau hydrographique très dense. Autrefois forêt sempervirente du bassin sédimentaire côtier, la végétation de la zone a subi une forte dégradation anthropique. On y observe de la forêt dense humide, des forêts dégradées, des zones marécageuses, des savanes et des forêts de mangroves. Ces dernières sont localisées sur les rives de l'estuaire du Komo, dans la baie de la Mondah et à l'embouchure de plusieurs cours d'eau.

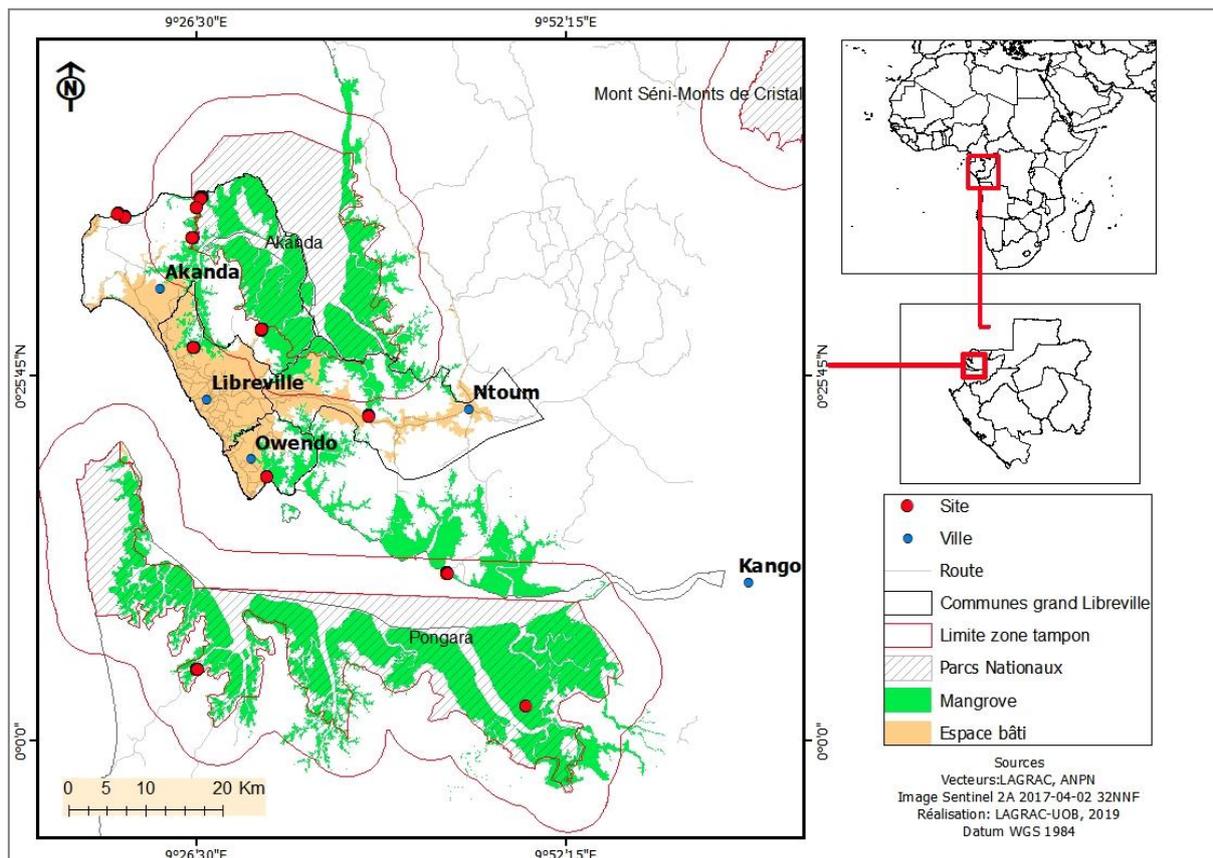


Figure 1 : Sites d'étude du projet MDMLERD

Cet espace subit une pression anthropique non négligeable, avec un réseau de communes urbaines en cours de développement comprenant Cocobeach, Ntoum, Kango, Akanda, Owendo et Libreville. Les trois dernières, situées sur la côte, concentrent à elles seules quasiment 50% de la population nationale. Tout comme l'ensemble du Gabon, elles ont connu une nette croissance démographique : de 441 970 habitants en 1993, elles sont passées à 869 741 en 2013 (RGPH, 1993; RGPL, 2013). Le niveau de participation à l'activité économique des 16-65 ans dans la zone se situe dans la tranche 56-68% (RGPL, 2013). À la date du dernier recensement détaillé et publié sur les emplois en 1993, les secteurs de l'administration (28,15% des emplois), les services (24,38%) et le commerce (21,60%) dominaient à Libreville, lui donnant le titre de multifonctionnelle (Guay-Okanga, 2002).

Cette région abrite un mini réseau d'aires protégées comprenant l'Arboretum Raponda Walker, le Parc National d'Akanda et le Parc National de Pongara qui font, depuis peu, l'objet du projet Arc d'Émeraude. Enfin, cette zone est très convoitée par les pouvoirs publics et les investisseurs, qui y développent des grands travaux d'aménagement à l'instar de la Zone Économique Spéciale de Nkok, l'extension du port d'Owendo, le projet de construction d'une marina sur le front de mer de Libreville, ou projettent d'y réaliser d'autres travaux de non moindre importance comme la construction d'un aéroport international.

Pour illustrer l'ensemble des caractéristiques des mangroves de l'Estuaire, douze sites d'étude ont été spécifiquement sélectionnés : deux en zone urbaine (Alibandeng, Alénakiri), sept en zones péri-urbaines (Bolokoboué 1 et 2, Mamboumba, Mamboumba rivière, Moka, Oveng Lassonde, Essassa) et trois en zones éloignées naturelles (Donguila, Matek Mavi, Remboué). Cette distribution se justifie par l'observation de variables soumises à des pressions extrêmes de la zone urbaine, à des pressions immédiates de la zone périurbaine et à des pressions encore faibles des zones éloignées. Mais aussi, ces différents sites sont soumis, plus ou moins selon leur localisation, aux effets des zones protégées. Ces sites, qui ont fait l'objet d'une collecte de données sur les paramètres environnementaux, constituent des points de validation de la cartographie issue des données de télédétection.

## **2.2. Collecte et analyse des paramètres environnementaux**

La méthode d'échantillonnage a été celle des transects (Imbert, 1985) et des placettes. Le secteur à implanter des transects a été choisi de façon aléatoire, mesurant 100 m de long et entrecoupé de placettes tous les 20 m. Les placettes ont été généralement circulaires avec un rayon variable en fonction du faciès à échantillonner. Ainsi, il y a eu des placettes de 2 m x 2 m (soit 12,56 m<sup>2</sup>) dans les sites où les individus sont assez petits ne dépassant pas 5 m de haut, de 7 m x 7 m (soit 154 m<sup>2</sup>) et une méga placette de 50 m x 50 m (soit 7850 m<sup>2</sup>) pour les individus de gros gabarits dépassant 50 cm de diamètre. Lorsqu'il y avait beaucoup de plantules, un quadra de 1 m<sup>2</sup> est installé. A l'intérieur des placettes et quodras, tous les individus ont été répertoriés, mesurés et marqués soit par de la craie rouge ou de la peinture rouge.

Dans les placettes, plusieurs mesures ont été effectuées, notamment des variables dendrométriques. La hauteur des arbustes et arbres a été mesurée à l'aide du télémètre laser. Le diamètre des individus a été mesuré avec le pied à coulisse pour les individus de moins de 5 cm, et avec le mètre forestier à partir de 1,30m du sol pour certains; mais, pour d'autres à racines échasses comme les *Rhizophora*, à 30 cm à partir de la dernière grosse racine. La densité a été calculée à partir du nombre d'individus par unité de surface, et la surface terrière indiquant le taux de recouvrement au sol. À partir d'un appareil multiparamètres, ont été aussi mesurés des paramètres physico-chimiques tels que le pH, la salinité, la conductivité et la température du sol. Enfin, a été menée l'identification de différentes espèces présentes dans les placettes.

A partir des données dendrométriques et floristiques, ont été calculés la biomasse, l'abondance, la dominance, la fréquence et l'indice de valeur d'importance. L'équation allométrique de Fromard *et al.* (1998)  $AGB=102.3DBH^{2.5}$  a été utilisée pour calculer la biomasse aérienne, et celle de Komiyama *et al.* (2005) :  $BGB=0.199p^{0.899}DBH^{2.22}$  pour la biomasse racinaire.

Aussi, dans le cadre de cette étude, l'analyse de l'état de santé des individus dans les différents sites a été effectuée pour évaluer le degré de vitalité ou de dégradation de la végétation. Cela a été une évaluation qualitative de l'état de santé des arbres. Deux typologies ont été utilisées, d'une part, celle de Kauffman et Donato (2012) et, d'autre part, celle en cours d'élaboration d'Ondo Assoumou (équipe

Mangrove du LAGRAC/Université Omar Bongo, 2019). La typologie de Kauffman et Donato (2012) met en exergue le statut des arbres dans les forêts tropicales, à partir des formes de dégradation observées. Ainsi, outre l'individu sain ou bien portant, trois stades de dégradation ont été proposés (types 1, 2 et 3). La typologie d'Ondo Assoumou, réalisée à partir des spécificités observées sur les mangroves de la province de l'Estuaire du Gabon, complète la précédente et ajoute 7 types. Ces deux typologies sont basées sur la physionomie des individus pour caractériser l'état de non dégradation ou de dégradation, en discriminant les vivants, les morts sur pied, les troncs cassés, les cimes cassées ou défoliées, les troncs à trous à la base.

### 2.3. Cartographie des mangroves par télédétection

Les données utilisées pour cartographier la dynamique des mangroves 2000-2017 et simuler les changements jusqu'en 2028 proviennent, tout d'abord, des images satellitaires Landsat 7 TM de 2000 et Landsat 8 ETM de 2014 d'une résolution de 30 m, qui ont été téléchargées sur le Catalogue en ligne *EarthExplorer* de l'*United States Geological Survey* (USGS) (Tableau 1). Pour assurer la comparabilité entre les images, seules les données Landsat ayant la même résolution spatiale ont fait l'objet d'une étude diachronique (2000 et 2014).

Tableau 1 : Récapitulatif des produits satellitaires utilisés

Libelle	Capteur	Résolution	Année	Système de projection	Commentaire
LC81860602014096LGN00	Landsat 8	30 m	2014	UTM 32N	Bonne qualité, présence de nuages.
LE71860602000098EDC00	Landsat 7	30 m	2000	UTM 32S	Qualité moyenne, présence de nuages.
ESA	Sentinel 2A	20 m	2017	UTM 32N	Bonne qualité, présence de nuages.
SRTM		90 m	2000	WGS84	
GDEM ASTER v2	Aster	75 m	2011	WGS84 EGM96	

Une image Sentinel-2A de l'année 2017, téléchargée sur le site Sentinel-Hub de l'ESA, a aussi été utilisée pour estimer les surfaces de mangrove et leur classification par espèce. Le recours aux données multisources est rendu obligatoire par la nébulosité caractéristique des images satellitaires de l'Afrique centrale.

La cartographie des hauteurs de mangroves a été rendue possible avec l'utilisation des données d'un modèle numérique de terrain (SRTM) et d'un modèle numérique d'élévation (ASTER GDEM).

Certains prétraitements tels que la création des masques nuages et leurs ombres, le calage d'images, le mosaïquage et la fusion d'images ont été réalisés, afin d'assurer la cohérence des résultats et leur comparabilité. Pour toutes les images, des traitements radiométriques supplémentaires ont été effectués, pour améliorer la séparabilité des objets ayant des signatures spectrales proches, à travers la création des néo canaux à partir des indices NDVI, NDWI, IC, NDPI.

La carte d'occupation du sol a été réalisée selon une classification supervisée par maximum de vraisemblance. Pour chaque image et tous les capteurs, une même nomenclature est adoptée: forêt de terre ferme, surface artificielle, eau, mangrove et nuage (Tableau 2). L'extraction de surfaces des mangroves a été effectuée et améliorée par le canal du moyen infrarouge, qui facilite l'identification de leurs limites (Taureau *et al.*, 2015).

Tableau 2 : Classes d'occupation du sol, Projet MDMERLD

Classes	Description
Eau	Bras de mer, rivières, lacs, plans d'eau, océan.
Nuages	Couverture nuageuse et leurs ombres.
Surface artificielle	Zones anthropisées ou urbanisées, sols nus, zones de sable et de vase, pelouse, plantation, espaces où la couverture végétale est absente, tannes.
Forêt de terre ferme	Espaces composés de couvert végétal de terre ferme dense et peu dense.
Mangrove	Forêts des terres inondées composées de la mangrove haute et de la mangrove basse.

Réalisation : Projet MDMLERD, 2018 .

La progression ou la régression des mangroves a été évaluée en comparant les vecteurs résultant des classifications des images Landsat 2000 et 2014, pour la zone d'étude.

Un modèle numérique de canopée des zones de mangrove a été obtenu par l'équation  $MNC = MNS - MNT$ . Il a permis d'estimer et de cartographier les hauteurs des mangroves dans la zone d'étude. Dans le cadre de l'étude, quatre classes de hauteur ont été définies, selon les mesures de terrain et la littérature : mangrove basse, entre 0 et 5 m ; mangrove moyenne, entre 5 et 15 m ; mangrove haute, entre 15 m et 30 m ; mangrove très haute, entre 30 et 55 m.

Les données de terrain ont été utilisées pour la classification des types de mangrove. En effet, les placettes mono spécifiques, couvrant chaque type de mangrove à savoir *Rhizophora racemosa*, *Rhizophora harrisonii*, *Avicennia germinans*, ont été géo référencées, puis sélectionnées comme zone d'entraînement. Le résultat de la classification supervisée de l'image Sentinel 2A a été affiné par les néo-canaux NDVI et NDW, la cartographie de Lebigre (1983) et la connaissance de terrain.

La précision thématique des cartes ou leur niveau de fiabilité a été appréciée à partir de la réalisation d'une matrice de confusion, qui indique la précision globale et l'indice Kappa. La matrice de confusion est basée sur une comparaison entre les zones d'entraînement classées par l'utilisateur grâce aux données de terrain, de drone et à sa connaissance du terrain, et entre ces mêmes zones reclassées par le logiciel. Au moyen d'un système d'information géographique, les données de terrain ont été superposées aux cartes pour extraire la classe d'occupation correspondant aux points de contrôles. Pour chacun des points, une validation visuelle des zones et pixels contigus a été réalisée afin de minimiser les erreurs de localisation géographique.

La cartographie des dynamiques d'occupation du sol et des surfaces de mangrove 2000-2014 ont servi à modéliser et simuler la dynamique de la mangrove sur la même période, soit à l'horizon 2028. Le modèle spatial de la dynamique de la mangrove de l'Estuaire s'appuie sur les facteurs de dégradation des surfaces de mangrove mis en évidence; dont l'anthropisation retenue comme principal moteur de la dégradation des mangroves urbaines et périurbaines. Ce modèle retranscrit les transitions entre la mangrove et les autres classes d'occupation du sol, ou inversement. Les scénarios prédictifs de 2028 sont donc basés sur les tendances et la probabilité de changement des paramètres de l'occupation du sol entre 2000 et 2014. Une modélisation de la mangrove à moyen terme a été effectuée à l'aide de la plateforme Land Change Modeler (LCM) d'IDRISI TerSet.

Les cartes de susceptibilité au changement, de la classe mangrove vers une des autres classes d'occupation du sol, sont réalisées pour chacune des transitions identifiées puis hiérarchisées. L'analyse quantifie les changements futurs, à l'aide de chaînes de Markov, et les localise. Le modèle LCM produit une matrice des quantités de changements attendus pour une date donnée, et une matrice de probabilité de transition de chaque classe d'occupation du sol vers les autres classes (Aguéjard et Houet, 2008). Les cartes de probabilité aux changements sont ensuite utilisées pour simuler les dynamiques des classes d'occupation des sols à l'aide d'un automate cellulaire, suivant un processus d'allocation spatiale des changements multi-objectifs.

Pour ce travail, seules les transitions ayant une forte contribution aux changements ont été retenues : mangrove-surface artificielle, mangrove-surface en eau et mangrove-forêt de terre ferme.

Le scénario tendanciel retenu traduit la continuité des dynamiques observées, sans rupture majeure. Ce scénario intègre les facteurs de changement déjà connus, et dont la probabilité est certaine. La continuité de l'artificialisation du territoire et notamment l'évolution des zones bâties, l'agriculture, la pêche et l'extraction du bois de mangrove pour le fumage des poissons sont les principales tendances lourdes retenues pour ce scénario. Dans ce scénario, seuls les nuages sont définis comme zone de restriction et ne sont pas pris en compte dans le processus de simulation.

### 3. RÉSULTATS

#### 3.1. Structure et composition floristique

Sur l'ensemble des 12 sites, 2410 taxons ont été échantillonnés sur 52 517 m<sup>2</sup> soit 5,2517 hectares. Dans les zones de mangroves, les taxons sont classés en deux catégories, avec des espèces caractéristiques et des espèces accompagnatrices. Dans la partie septentrionale de la côte gabonaise, cinq espèces caractéristiques des mangroves ont été recensées, dont deux du genre *Rhizophora*, principalement *Rhizophora harrisonii* et *Rhizophora racemosa* (famille des Rhizophoraceae), qui totalisent respectivement 1032 et 912 individus. Puis, *Avicennia germinans* (famille des Avicenniaceae) totalisant 182 individus. Enfin, il y a les deux espèces de la famille des Combretaceae, dont *Laguncularia racemosa* avec 106 individus et *Conocarpus erectus* avec 3 individus. Parmi les espèces accompagnatrices, *Phoenix reclinata* est présente dans les placettes avec 32 individus.

Les mangroves de Libreville et ses environs colonisent les zones protégées de la force maximale de l'océan, soit : les estuaires, les criques et les rivières. Elles pénètrent largement l'intérieur des terres par ces voies, à plus de 65 km pour l'estuaire du Komo.

La répartition territoriale des espèces de mangroves (Figure 2), cartographiée à l'aide de la classification de l'image Sentinel validée de façon satisfaisante (Tableau 3) et à l'aide de la connaissance de terrain, est caractérisée par un fort recouvrement spatial du genre *Rhizophora* (*racemosa* et *harrisonii*). Les *Rhizophora racemosa* sont principalement situés en amont de l'estuaire du Komo, particulièrement sur la rive sud près de l'embouchure de la rivière Remboué. Cette espèce est aussi localisée en ilots sur la rive gauche de l'estuaire de la Mondah.

Tableau 3 : Résultats de validation de la classification des espèces de mangroves, Sentinel 2017

	Tanne et sol nu	Rhizop, harrisonii	Mangrove mixte	Rhizop, racemosa	Total	User accuracy
Tanne et sol nu	<b>268023</b>	738	5698	309	274777	97,54
Rhizop, harrisonii	1264	<b>336224</b>	26196	16549	380233	88,42
Mangrove mixte	976	76245	<b>449789</b>	265397	792407	56,76
Rhizop, racemosa	1621	26375	12952	<b>1133498</b>	1174446	96,51
Total	271884	439582	494635	1415753	2621854	
Producer accuracy	98,57	76,48	90,93	80,06		

83,43%	Overall Accuracy
0,8651	Kappa

Les *Rhizophora harrisonii* mélangés aux *Avicennia germinans* sont situés plutôt vers le centre de l'estuaire du Komo, particulièrement sur la rive sud, mais aussi sur la rive nord vers Donguila. Contrairement aux mangroves de Guyane française où la vase récente est colonisée par de jeunes *Avicennia*, sur la côte ouest africaine, en revanche, la mangrove frontale est essentiellement dominée, dans les estuaires, delta et le long des rivières, par les *Rhizophora*. Ainsi, selon les observations faites sur le terrain, un premier rideau de *Rhizophora harrisonii* longe les berges, alors que les *Avicennia germinans* sont en arrière-plan. Les *Rhizophora harrisonii* dominent les mangroves de l'estuaire de la Mondah. Les *Rhizophora mangle* sont endémiques qu'exclusivement à la rivière Lowé. Situées en zone urbaine, elles sont très menacées.

Le genre *Avicennia*, minoritaire, reste difficilement identifiable à l'échelle provinciale du fait de son faible recouvrement spatial. Les *Avicennia germinans* se mêlent généralement aux *Rhizophora harrisonii*, ou bien ils sont présents en îlots comme à Moka et Mamboumba.

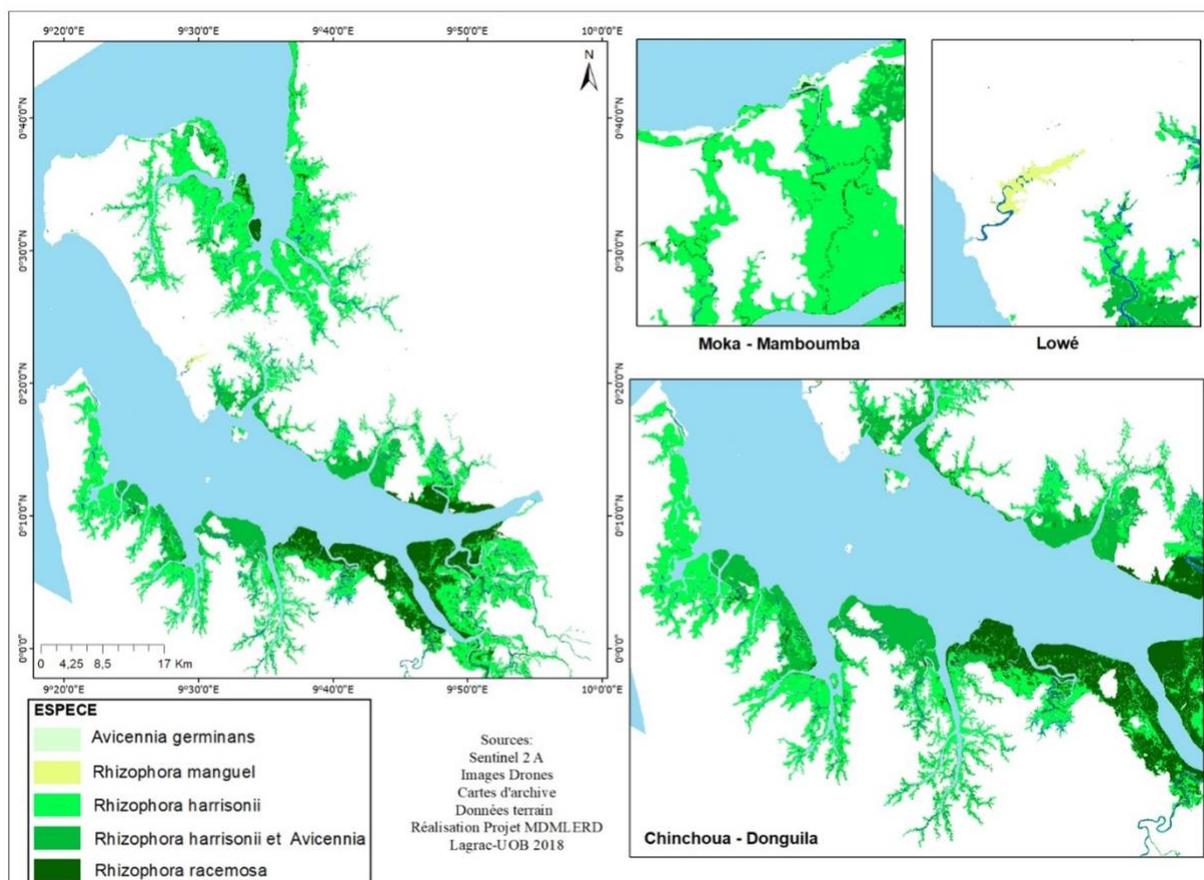


Figure 2 : Répartition des espèces de mangrove des estuaires du Komo et de la Mondah (Libreville et ses environs)

L'étude de la distribution des individus par classes de diamètre révèle une répartition en 20 classes (Figure 3). La distribution des classes de diamètre de tous les individus montre une courbe en « L », c'est-à-dire dominées par de jeunes individus. Toutefois, dans cette zone d'étude, il est à signaler la présence de gros spécimens avec plus de 50 cm, voire des individus qui atteignent 100 cm de diamètre. Mais, les individus de gros diamètres sont beaucoup plus vulnérables face aux conditions environnementales (stress hydrique et sédimentaire, instabilité du substrat vaseux) d'où leur absence dans certains sites.

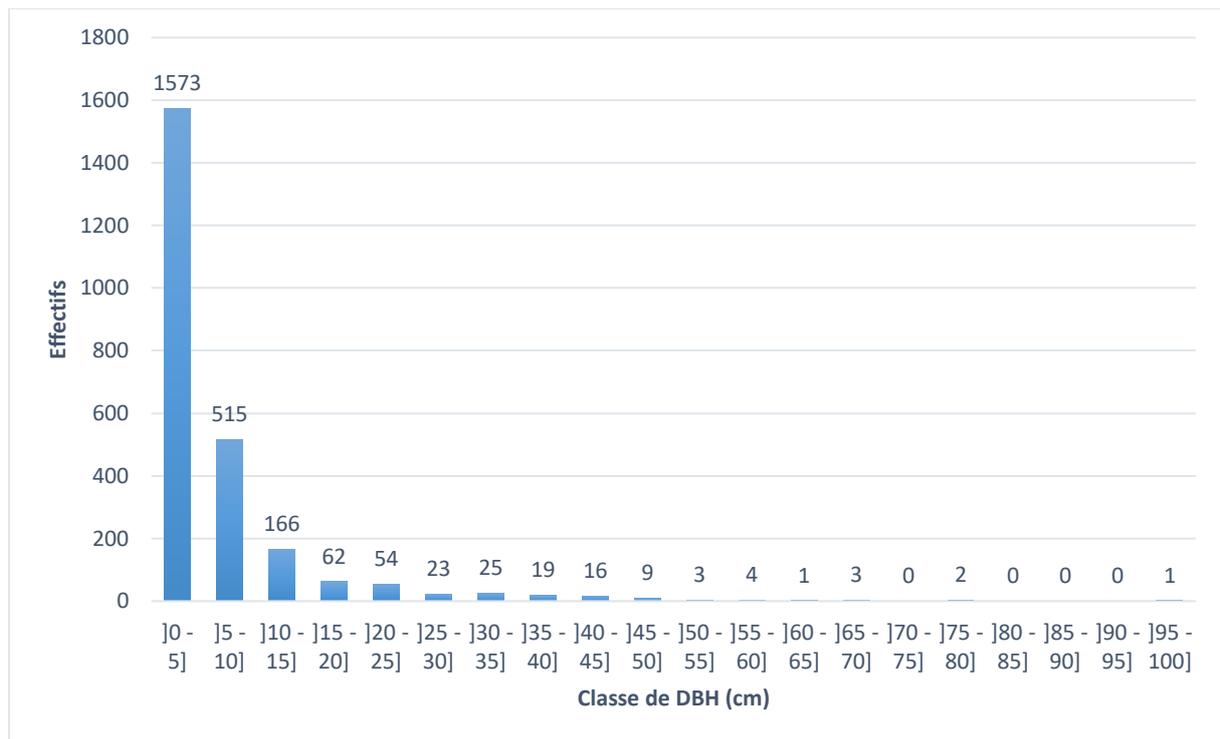


Figure 3 : Distribution des classes de diamètre des arbres de la mangrove des estuaires du Komo et de la Mondah (Libreville et ses environs), sites échantillonnés

Par ailleurs, l'analyse des classes de diamètre montre aussi une répartition par espèces. Ainsi, sur les sites échantillonnés, *Avicennia germinans* a des individus les plus gros, atteignant les 100 cm de diamètre et représentant 42 % devant *Rhizophora harrisonii* 31 %, *Rhizophora racemosa* 24 % et *Laguncularia racemosa* 3 %.

Les hauteurs se répartissent également par classes, au total 15 classes déterminées (Figure 4). Il faut noter que le fait le plus marquant est la présence de plusieurs individus très hauts dépassant largement la limite de 30 m de haut. Il y en a même qui atteignent 60 et 75 m de haut. Cela est assez exceptionnel dans les écosystèmes de mangroves, dans la plupart des régions du monde. L'analyse comparative des hauteurs entre espèces de mangroves montre cependant, contrairement aux diamètres, que les hauteurs

les plus importantes sont observées chez les *Rhizophora*. Ainsi, les plus hauts sont majoritairement *Rhizophora harrisonii* avec 53%. Il est suivi par *Avicennia germinans* avec 24%, *Rhizophora racemosa* avec 22% et *Laguncularia racemosa* avec 1%.

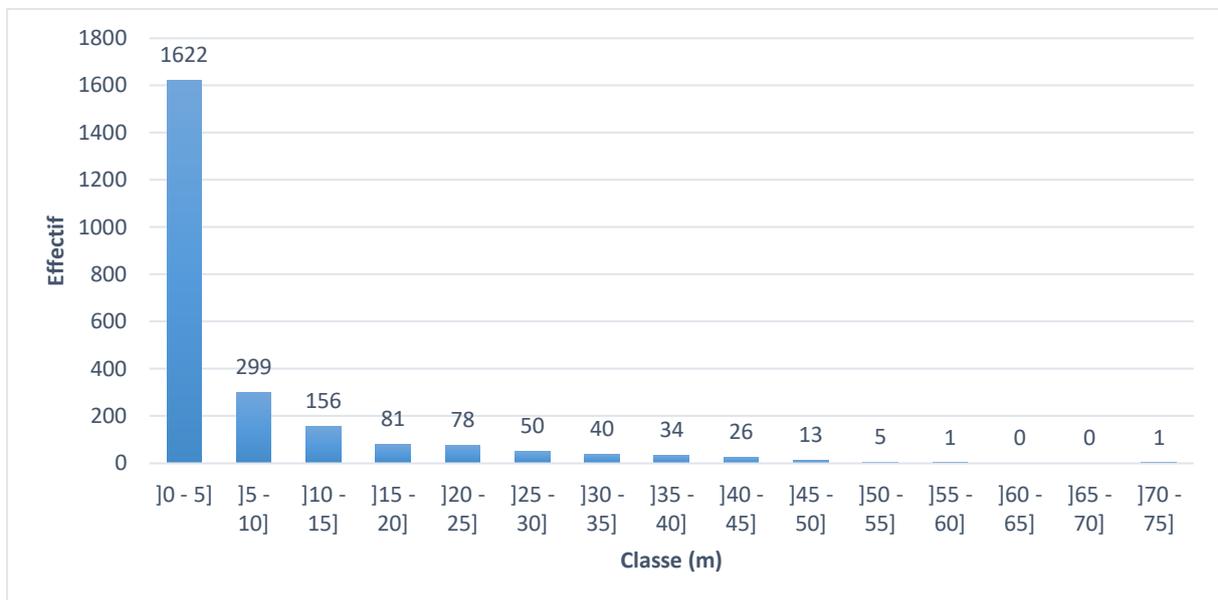


Figure 4 : Distribution des classes de hauteurs des arbres de la mangrove des estuaires du Komo et de la Mondah (Libreville et ses environs), sites échantillonnés

La mesure des hauteurs, faites par télédétection, corrobore avec les moyennes de hauteurs des sites échantillonnés. Ainsi, la comparaison des hauteurs estimées par télédétection et des hauteurs observées traduit une différence non significative (Figure 5). Un biais de -0,026 % est toutefois constaté, expliqué par un écart moyen standard de 2,60 m entre les hauteurs estimées et les hauteurs observées.

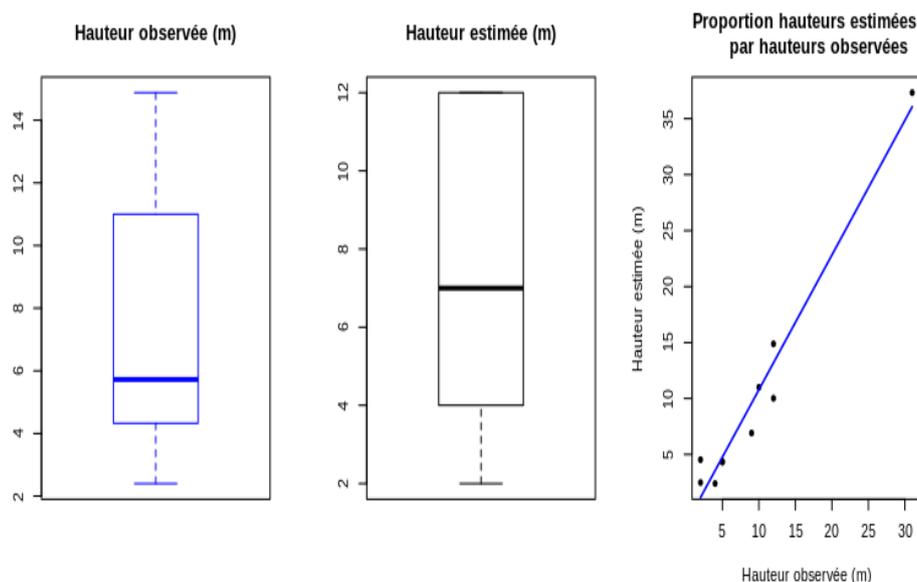


Figure 5 : Comparaison entre les hauteurs observées sur les sites d'étude et les hauteurs estimées par télédétection

Les résultats démontrent une très grande population de mangroves dont la hauteur varie entre 0 et 5 m (Figure 6). Répartie sur toutes les zones, elle favorise généralement l'arrière-plan et est peu alimentée en eau. Elle se situe donc vers les terres fermes et les fonds de criques et de rivières. Toutefois, elle se remarque aussi le long du rivage près de la Pointe Denis.

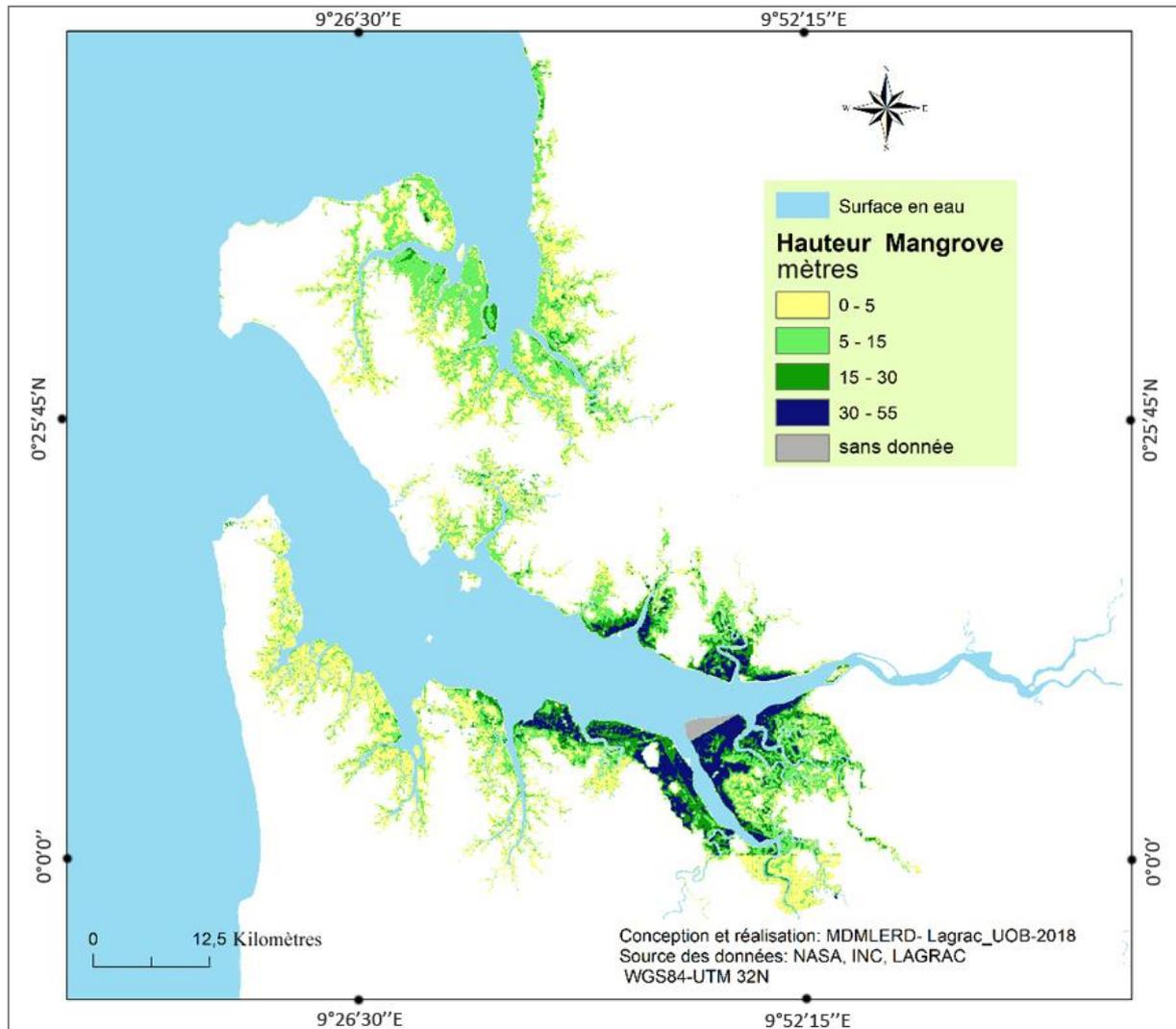


Figure 6 : Estimation des hauteurs des mangroves des estuaires du Komo et de la Mondah (Libreville et ses environs)

Les mangroves de plus de 5 m se situent généralement au premier plan, au contact immédiat de l'eau. Les mangroves les plus hautes sont situées dans la partie est de l'estuaire du Komo. Protégées et bénéficiant certainement de conditions environnementales très favorables, elles ont atteint jusqu'à 55m (mesurées par télédétection) et un peu plus de 70 m (un individu mesuré sur le terrain). Les plus importantes se localisent majoritairement dans les sites de Donguila et le long de la rivière Remboué.

En allant vers l'embouchure de l'estuaire, les hauteurs sont moins importantes. La rive sud, protégée par le Parc National de Pongara, inclue la plus grande partie des mangroves du Komo.

L'estuaire de la Mondah héberge des mangroves de tailles faibles et moyennes, exemple à Oveng (très petites), Alibandeng et Mamboumba (petites et moyennes). La rive gauche, présentant une plus grande surface, est plutôt constituée de mangroves moyennes, qui varient entre 15 et 30 m, alors que la rive droite a des mangroves plutôt jusqu'à 5 m.

Afin d'évaluer la concentration du carbone sur les individus répertoriés sur les sites d'inventaire, l'analyse de la biomasse a porté sur deux parties de l'arbre, le tronc et les racines. Deux équations allométriques pour calculer cette biomasse ont été appliquées : celle de Fromard *et al.* (1998) sur le tronc, et celle de Komiyama *et al.* (2005) sur les racines.

Ces calculs montrent que la concentration de biomasse aérienne la plus importante est détenue par *Rhizophora racemosa* avec 46%, et *Rhizophora harrisonii* avec 30%. L'ordre des espèces reste le même dans la concentration de biomasse souterraine, avec de proportions variées. Ainsi, *Avicennia germinans*, qui détenait une part insignifiante de biomasse aérienne, dispose de 16% de biomasse souterraine (Tableau 4).

Tableau 4 : Biomasse par espèce des mangroves des estuaires du Komo et de la Mondah  
(Libreville et ses environs)

Principales espèces	Effectifs	DBH (cm)	Densité (ha)	Haut. (%)	ST	AGB (tonnes)	BGB (kg)	Concent. AGB (%)	Concent. BGB (%)
<i>Avicennia germinans</i>	182	2869,19	87 733,177	24	30,661	34 439,190	530,12	22,88	18,81
<i>Rhizophora harrisonii</i>	1030	4641,46	577 658,89	53	16,069	45 409,794	789,27	30,17	28,01
<i>Rhizophora racemosa</i>	912	7858,32	480 068,06	22	9,664	69 872,423	1413,67	46,42	50,17
<i>Laguncularia racemosa</i>	106	579,15	15 772,257	1	0,181	790,1776	84,58	0,52	3,00
TOTAL	2230	15948,12	1 161 232,38	100	56,575	150 511,585	2817,64	100	100

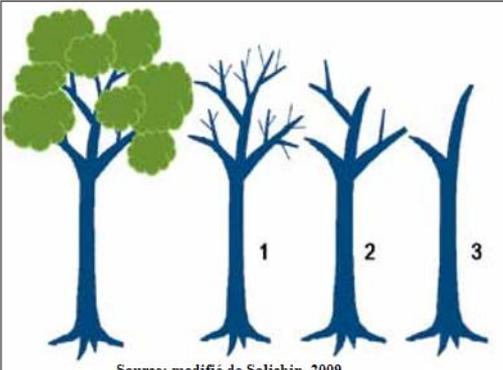
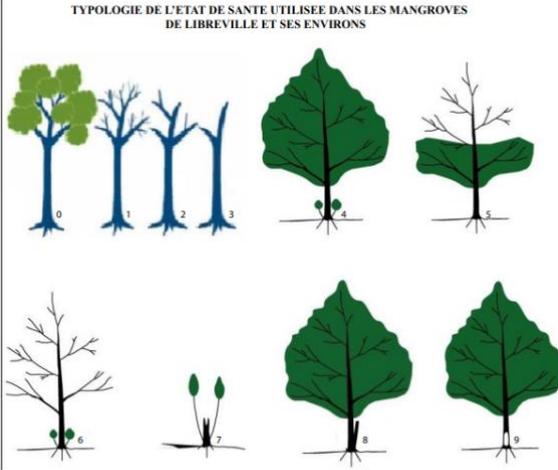
Légende : DBH : Diamètre à hauteur de poitrine, ST : Surface terrière, AGB : Biomasse épigée, BGB : Biomasse hypogée.

L'ensemble des quatre espèces totalisent 150 512 tonnes de biomasse aérienne et une biomasse souterraine de 3 tonnes environ. *Rhizophora racemosa* concentre 69 872,423 tonnes de biomasse épigée et 1,4 tonne en hypogée. *Rhizophora harrisonii* compte 4641,46 cm de DBH pour 45 409,794 tonnes de biomasse épigée et 0,8 tonne en hypogée. Ensuite, vient *Avicennia germinans* avec 2869,19 cm de DBH, 3,608 m<sup>2</sup> de surface terrière et 34 439,19 tonnes de biomasse épigée contre 0,53 tonne en hypogée. Enfin,

*Laguncularia racemosa* détient 790,18 tonnes de biomasse aérienne contre 0,084 tonnes en souterraine pour un total de 579,15 cm de DBH et 0,337m<sup>2</sup> de surface terrière (Tableau IV).

### 3.2. État de santé

Afin de caractériser l'état de santé dans les différents sites échantillonnés, ont été utilisées deux approches (Figure 7) : celle de Kauffman et Donato (2012) et celle d'Ondo Assoumou (2018). Les observations sur les individus sont essentiellement physiologiques et ont trait à la présence et/ou absence des feuilles et branches, la nature de la cime cassée ou non, la présence de rejets sur le tronc de l'individu, la présence d'individus vivants, morts sur pied ou couchés.

a)	 <p>Source: modifié de Solichin, 2009</p>	Type 1 : arbres récemment morts et conservant de nombreuses branches et rameaux plus petits
		Type 2 : arbres ayant perdu de petites branches, des brindilles et une partie des grosses branches
		Type 3 : statut de décomposition : la plupart des branches ont été perdues et il ne reste que la tige principale, souvent cassée
b)	<p>TYPOLOGIE DE L'ETAT DE SANTE UTILISEE DANS LES MANGROVES DE LIBREVILLE ET SES ENVIRONS</p>  <p>source: LAGRAC-UOB, projet MDMLERD (données de terrain, 2017-2018) auteur: ONDO ASSOUMOU Emmanuel</p>	Type 0 : individus en bonne santé
		Type 4 : individus en bonne santé ayant des rejets sur le tronc
		Type 5 : individus présentant une cime cassée ou défoliée
		Type 6 : individus morts à troncs partiellement bien conservés mais en survivance grâce aux rejets
		Type 7 : individus au tronc principal coupé, à souche résiduelle et à reprise progressive par les rejets à la base.
		Type 8 : individu à plusieurs troncs dont un mort
Type 9 : individus à cavité à la base du tronc		

Note : Application a) des classes d'état de dégradation des arbres morts pour les arbres tropicaux selon Kauffman et Donato (2012), et b) la typologie de l'état de santé des mangroves de Libreville selon Ondo Assoumou (2018).

Figure 7 : Évaluation de l'état phytosanitaire des mangroves de Libreville et ses environs

Ces typologies utilisées révèlent deux états observés dans les mangroves de Libreville et ses environs : des mangroves intactes et des mangroves dégradées. Les mangroves intactes sont composées de deux types, Type 0 et Type 4. Dans les mangroves dégradées, les situations sont plus diversifiées et complexes; 5 types ont été caractérisés.

Les mangroves de Types 0 et 4 sont les plus importantes dans les sites échantillonnés (Figure 8), suivies des mangroves de Type 5 (individus à cimes cassées ou défoliées) et de Type 3 (individus ayant perdu les 2/3 de leurs branches et sont en pleine décomposition).

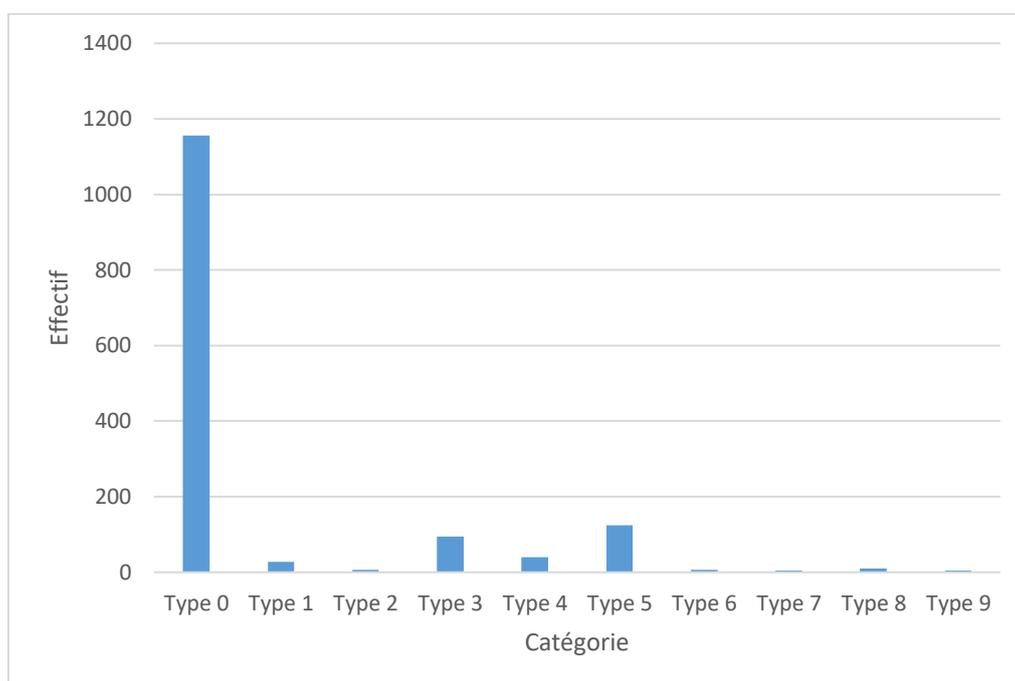


Figure 8 : Nombre d'individus par type d'état de santé des mangroves de Libreville et ses environs

Les mangroves de Libreville et ses environs sont dominées par les arbres encore en bonne état de santé (Figure 9), soit 83,13% des individus de Types 0 et 4. La proportion des mangroves dégradées reste encore faible, soit 16,87% d'individus dégradés.

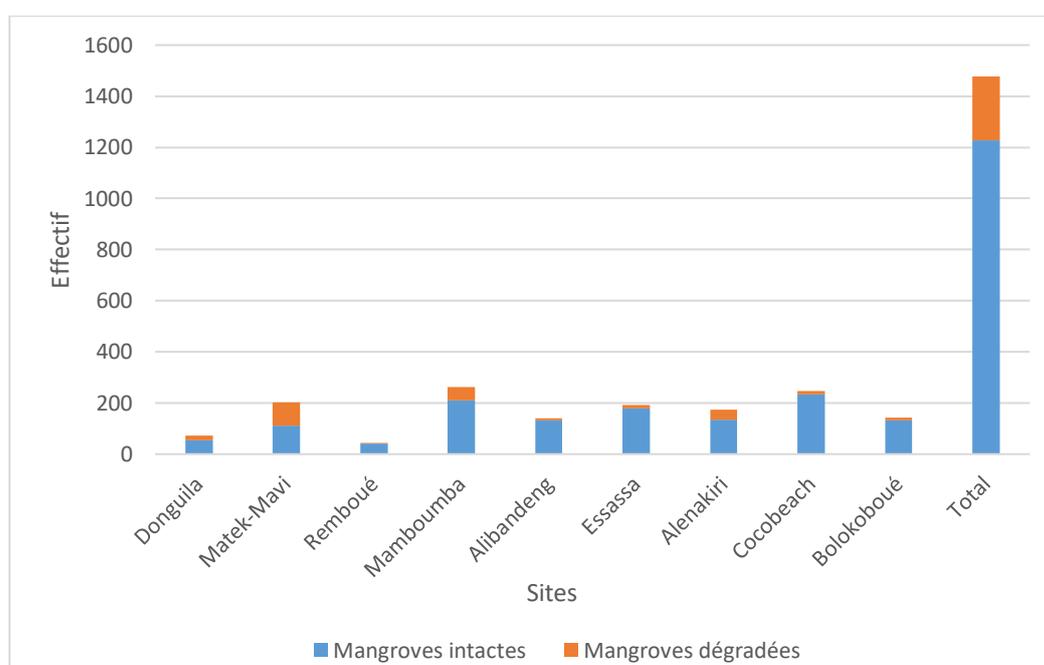


Figure 9 : Nombre d'individus dégradés et en bonne santé par site des mangroves de Libreville et ses environs

Une analyse plus détaillée montre que l'état de santé de la mangrove varie selon les sites (Tableau 5).

Tableau 5 : Taux de dégradation et de bonne santé des mangroves de Libreville et ses environs

Sites	Mangroves intactes (%)	Mangroves dégradées (%)
Donguila	4,40	7,23
Matek-Mavi	9,05	36,95
Remboué	2,93	1,61
Mamboumba	17,20	20,08
Alibandeng	10,68	3,61
Essassa	14,50	6,02
Alenakiri	11,08	15,26
Cocobeach	19,40	5,22
Bolokoboué	10,76	4,02
<b>Total</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

Ainsi, Remboué est le site le moins dégradé avec 1,61% du taux de dégradation suivi d'Alibandeng et Bolokoboué. Tandis que les sites les plus dégradés sont Matek-Mavi, une partie de Mamboumba et Alénakiri. En revanche, les sites les mieux préservés sont Cocobeach, une partie de Mamboumba et Essassa. Le site de Mamboumba est assez complexe, avec un taux de dégradation qui progressivement s'équilibre avec le taux de bonne santé. Il est à noter que parmi les sites en bon état, Cocobeach est le mieux préservé par rapport à Remboué. Cependant, malgré cette situation, Remboué reste tout de même le site le moins dégradé par rapport à Matek-Mavi et Mamboumba.

### 3.3. Dynamique des mangroves

La classification de l'occupation du sol pour les années 2000, 2014 et 2017 (Tableau 6) a produit des résultats satisfaisants (Tableaux 7, 8 et 9) qui a permis d'extraire les mangroves. La vectorisation de l'ensemble des surfaces de mangrove de 2000 à 2017 a permis de calculer leur surface totale, évaluée à 1051,30 km<sup>2</sup> en 2000, 997,33 km<sup>2</sup> en 2014 et 1050,93 en 2017.

Tableau 6 : Évolution de l'occupation du sol de Libreville et ses environs (2000-2017)

CLASSES	Landsat 2000		Landsat 2014		Sentinel 2 2017	
	Surfaces		Surfaces		Surfaces	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
Surface artificielle	267,39	4,81	431,42	7,76	470,25	8,46
Forêt de terre ferme	2139,83	38,53	2209,22	39,76	2046,40	36,84
Mangrove	1051,30	18,93	997,33	17,94	1050,93	18,92
Cours d'eau	1833,02	33,01	1883,46	33,96	1871,45	33,69
Nuages	262,19	4,72	32,20	0,58	116,31	2,09
<b>TOTAL</b>	<b>5553,63</b>	<b>100</b>	<b>5553,63</b>	<b>100</b>	<b>5555,34</b>	<b>100</b>

Tableau 7 : Résultats de validation de la classification de l'occupation du sol, Landsat 2000

	Forêt de terre ferme	Mangrove	Surface artificialisée	Surface en eau	Total	User accuracy
Forêt de terre ferme	<b>55217</b>	244	5	0	55466	99,55%
Mangrove	566	<b>35843</b>	0	321	36730	97,59%
Surface artificialisée	464	77	<b>8185</b>	709	9435	86,75%
Surface en eau	0	0	0	<b>38376</b>	38376	100,00%
Total	56247	36164	8190	39406	140007	
Producer accuracy	98,17%	99,11%	99,94%	97,39%		

98,29%	Overall Accuracy
0,9754	Kappa

Tableau 8 : Résultats de validation de la classification de l'occupation du sol, Landsat 2014

	Forêt de terre ferme	Mangrove	Surface artificialisée	Surface en eau	Total	User accuracy
Forêt de terre ferme	<b>79492</b>	185	1107	0	80784	98,4
Mangrove	504	<b>33900</b>	34	5	34443	98,42
Surface artificialisée	643	3	<b>8292</b>	0	8938	92,77
Surface en eau	0	15	0	<b>48727</b>	48742	99,97
Total	80639	34103	9433	48732	172907	
Producer accuracy	98,58	99,4	87,9	99,99		

98,56%	Overall Accuracy
0,9781	Kappa

Tableau 9 : Résultats de validation de la classification de l'occupation du sol, Sentinel 2017

	Forêt de terre ferme	Mangrove	Surface artificialisée	Surface en eau	Total	User accuracy
Forêt de terre ferme	143632	16	0	0	143648	99.99
Mangrove	53	25168	0	0	25221	99.79
Surface artificialisée	36	35	3961	0	4032	98.24
Surface en eau	0	9	0	321671	321680	100.00
Total	143721	25228	3961	321671	494581	
Producer accuracy	99.94	99.76	100.00	100.00		

99,9699%	Overall Accuracy
0.9994	Kappa

La variation entre ces trois années,  $-53,97 \text{ km}^2$  entre 2000-2014 et  $+53,6 \text{ km}^2$  entre 2014-2017, en fait, sur l'ensemble de la période 2000-2017, une classe mangrove d'une superficie relativement stable. Cependant, cette stabilité en surface totale cache des modifications importantes au niveau local.

Ainsi, l'étude de la dynamique de la mangrove, par superposition des cartes réalisées avec les données Landsat, démontre les zones de stabilité, les gains et les pertes de surface entre 2000 et 2014 (Figure 10). Dans l'ensemble, la mangrove a enregistré des gains de surface totalisant  $49,71 \text{ km}^2$ , contre des pertes de  $86,01 \text{ km}^2$ . Sur cette période, les zones de mangroves stables sont les plus importantes.

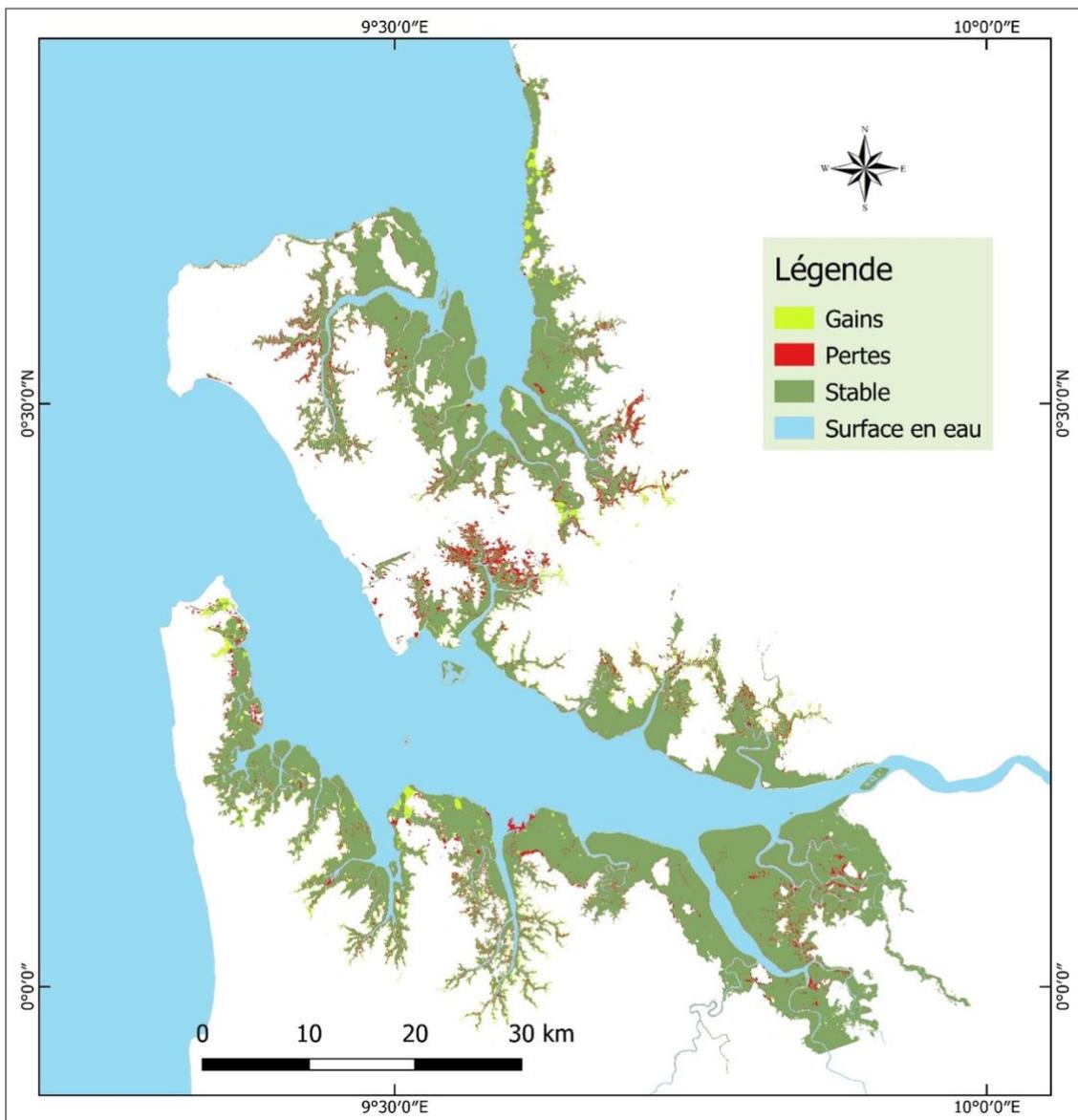


Figure 10 : Dynamique spatiale des mangroves de Libreville et ses environs de 2000 à 2014

Les pertes de surface se répartissent dans chaque grande zone : le Parc national de Pongara (rive sud de l'estuaire du Komo), la rive nord de l'estuaire du Komo et la Baie de la Mondah (Parc national d'Akanda et espaces hors parc).

### 3.4. Simulation

Si les moteurs de changement restent les mêmes et les tendances de 2000-2014 se maintiennent, la simulation prévoit une continuité de l'artificialisation du territoire en 2028 (Tableau 10). Les écosystèmes naturels (forêt de terre ferme et mangrove) perdront leur surface au profit des surfaces artificielles.

Tableau 10 : Évolution de l'occupation du sol 2000-2014 et simulation 2028 de Libreville et ses environs

CLASSES	2000		2014		2028	
	Surfaces		Surfaces		Surfaces	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
Surface artificielle	267,39	4,81	431,42	7,76	494,87	8,91
Forêt de terre ferme	2139,83	38,53	2209,22	39,76	2203,92	39,67
Mangrove	1051,2	18,93	997,33	17,94	946,37	17,04
Cours d'eau	1833,02	33,01	1883,46	33,96	1846,61	33,25
Nuages/ombres	262,19	4,72	32,2	0,58	32,2	0,58
<b>TOTAL</b>	<b>5553,63</b>	<b>100</b>	<b>5553,63</b>	<b>100</b>	<b>5553,63</b>	<b>100</b>

Les mangroves de la zone d'étude, d'une superficie de 997,33 km<sup>2</sup> en 2014, connaîtront une régression pour atteindre 946,37 km<sup>2</sup> en 2028. De 18,93% du territoire étudié en 2000, elles passeront donc à 17,04% en 2028. La figure 11 localise les transformations les plus importantes situées dans la zone d'Akanda, au nord de Libreville.

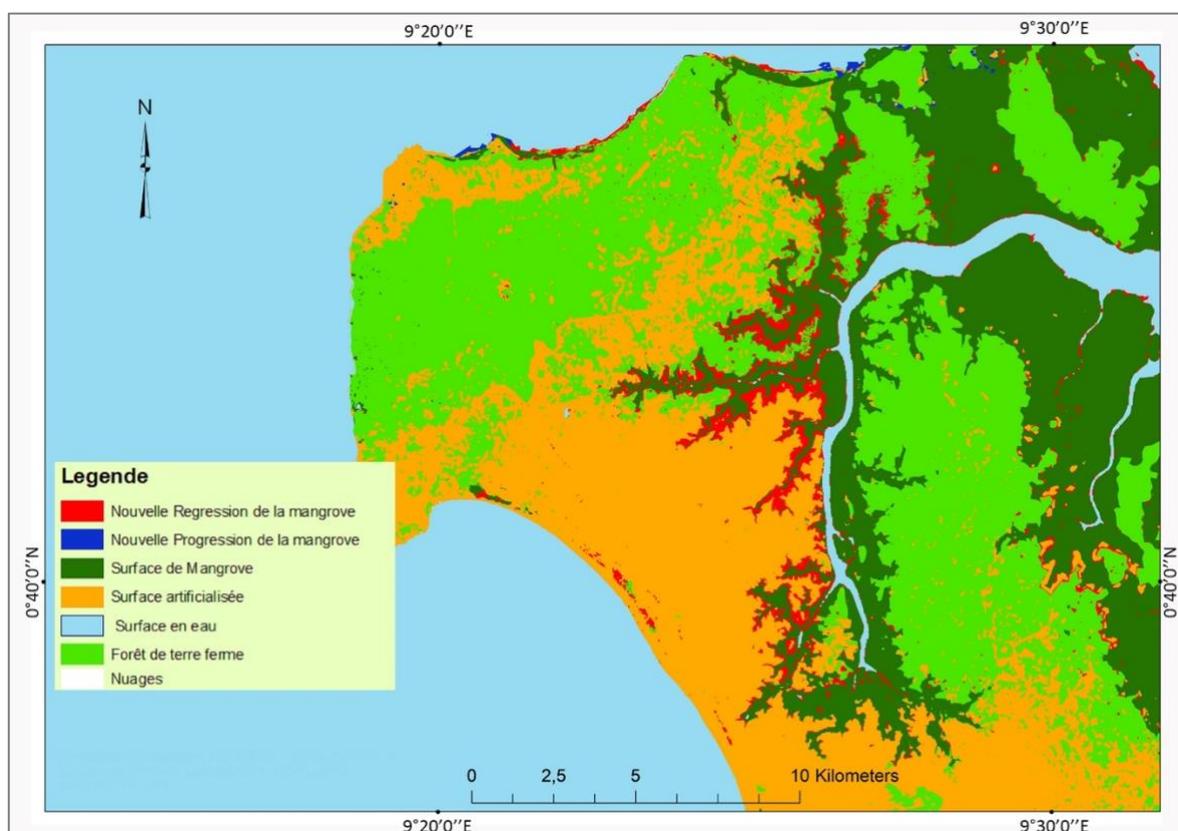


Figure 11 : Progressions et régressions simulées des mangroves de la zone d'Akanda à l'horizon 2028

Les quelques mangroves existantes le long de la côte ouest seront éradiquées par le bâti. L'extension urbaine empiètera aussi sur les mangroves le long de la rive ouest de la rivière Tsini et ses affluents. Le mince rideau de mangroves allant de la Pointe Idolo, à la Pointe Bolokouboué et jusqu'à Mamboumba, sur la côte nord de la zone d'étude, subira aussi des transformations importantes.

#### 4. DISCUSSION

Au niveau méthodologique, l'usage de la télédétection apporte un bénéfice pour comprendre la répartition spatiale des espèces et des hauteurs de mangroves. Dans le cadre de cette étude, seule la télédétection optique a été utilisée pour cartographier les espèces. Des incertitudes peuvent affecter la précision des résultats. En effet, dès la délimitation de la mangrove par la classification des données optiques, quelques confusions peuvent intervenir avec des espèces de forêts de terre ferme (Habshi *et al.*, 2007), selon la résolution de l'image (*mixed pixels*, Heumann, 2011). Plus la résolution spatiale est fine, plus le résultat est précis. Ainsi, dans cette présente étude, la carte faite à partir de l'image Sentinel a donné de meilleurs résultats que celles faites à partir des images Landsat.

Toutefois, l'imagerie optique n'a pas pu être exploitée pour estimer les hauteurs; l'utilisation de la télédétection radar pourrait améliorer la mesure des hauteurs (Li *et al.*, 2007; Winarso *et al.*, 2015).

Outre les limitations évoquées précédemment, les imprécisions horizontales et surtout verticales du SRTM et du ASTER GDM (*a product of METI and NASA*), intégrés dans le calcul de la hauteur, et les différences de résolution entre les sources de données peuvent amener des erreurs dans l'estimation de la hauteur.

Évaluer objectivement l'état de santé d'un individu est une activité difficile et complexe. L'évaluation de l'état de santé d'un arbre passe nécessairement par la détermination d'indices de qualité dans une station. Ainsi, Goxe *et al.* (2016) ont proposé cinq indices (très mauvais, mauvais, moyen, bon et excellent). De même Hamidi *et al.* (2014) au Maroc ont proposé cinq catégories allant d'arbre sain, arbre à dépérissement léger, modéré, grave et très grave. Les catégories sont numérotées de 0 à 4. Dans les forêts tropicales, Kauffman et Donato ont également analysé l'état de santé des arbres en utilisant la notion de statut des arbres dégradés. Leur classification donne trois statuts numérotés de 1 à 3. Ainsi, en s'appuyant sur cette dernière, qui a été adaptée à la présente région et surtout en la complétant, une nouvelle méthodologie a été développée. C'est un outil efficace pour ce type d'analyse. Ont été ajoutés sept (7) types, car il y a des états physiologiques des individus qui ne peuvent pas être classés selon le modèle de Kauffman et Donato. Cependant, contrairement aux deux premières classifications, évoquées ci-dessus, qui analysent aussi bien l'état physiologique que les causes des formes de dégradation, la présente typologie au stade actuel est plutôt physiologique, tout en évaluant les données tant qualitatives que quantitatives.

La régression des surfaces de mangrove entre 2000 et 2014, démontrée par la figure 10, est occasionnée par des moteurs différents selon la localité. Sur la rive nord de l'estuaire du Komo, ainsi qu'autour de la Baie de la Mondah, les régressions sont en majorité causées par l'anthropisation du territoire, en particulier le développement résidentiel. C'est le cas pour la zone de Bikélé-Bambouchine (Okanga-Guay *et al.*, 2018) et la commune d'Akanda (rivière Tsini) pour le résidentiel, et la zone de Nkok pour le développement industriel. Ces espaces, pourtant hostiles et inappropriés pour la construction, subissent des pressions remarquables. Cette construction dans les mangroves, telle que démontrée sur les berges de la rivière Tsini, est hasardeuse car tout d'abord effectuée sur un substrat instable (vase) et dans des zones inondables. Aussi, l'usage trop intense du bois de mangrove provoque sa dégradation ; la mangrove est aussi utilisée comme bois de chauffage pour la cuisson des aliments et le fumage des poissons.

Pour les zones les moins anthropisées, telles que les mangroves du Parc national de Pongara, les régressions sont plutôt d'origines naturelles telles que l'érosion en front d'estuaire ou de décolonisation en arrière-plan. De la même façon, les progressions peuvent être imputées à la colonisation des espaces vaseux ou propices.

Les transformations prévues en 2028 dans la zone d'Akanda sont particulièrement préoccupantes. En effet, les mangroves en front d'estuaire ont la particularité de protéger le littoral contre l'érosion côtière. Leur disparition rend les populations et leurs constructions vulnérables à l'érosion et aux conséquences des changements climatiques, telles que l'élévation du niveau de l'océan ou l'augmentation des occurrences de tempêtes.

## **5. CONCLUSION**

Les mangroves de la province de l'Estuaire connaissent des changements relativement importants. En effet, mitoyennes à la capitale du Gabon, Libreville, elles subissent, dans bien des cas, les impacts de l'extension et de la densification urbaine. Malgré la présence des parcs nationaux en périphérie de la ville, ces mangroves continuent de régresser; c'est le cas surtout autour du Parc National d'Akanda, toutefois à un rythme globalement lent. *A contrario*, les zones les plus éloignées de la ville ont des moteurs de changement différents essentiellement tournés vers des phénomènes naturels, comme la décolonisation et la colonisation.

Suite à ce premier essai de caractérisation et de suivi des mangroves de la province de l'Estuaire, plusieurs axes de recherche complémentaires sont en cours : usages et perceptions des mangroves, analyse de la dispersion des individus exceptionnels, impact de la dégradation et de la déforestation des mangroves sur l'érosion côtière, impact de la pollution urbaine sur l'état de santé des mangroves.

## Remerciements

L'équipe MDMLERD remercie le Projet OSFACO de l'IRD et de l'IGN-FI, et l'AUF pour leur appui financier. Elle souligne aussi l'implication du LAGRAC et de son Directeur, le Professeur Jules DJEKI, ainsi que du Département de Géographie, de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines de l'Université Omar Bongo de Libreville (Gabon) et de l'ONG WeNeed. L'équipe signale l'appui technique de Dr Jean Paul OBAME, Roméo KIELA, Jean Calvin NDONG OBAME et Geldin Derrick VOUBOU, étudiants DSAS et autres du Département de Géographie, l'AGEOS, l'ANPN et son Projet Arc d'Émeraude.

Le projet MDMLERD mentionne: *European Commission Copernicus Sentinel Data, Inspiring Afrisar team of 2017 et ASTER GDEM is a product of METI and NASA.*

## Liste des références

Aburto-Oropeza, O., Ezcurra, E., Danemann, G., Valdez, V., Murray, J., & Sala, E., 2008. Mangroves in the Gulf of California increase fishery yields. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(30): 10456-10459.

Ajonina, G. N.; Kairo, J.; Grimsditch, G.; Sembres, T.; Chuyong, G. & Diyouke, E., 2014. Assessment of mangrove carbon stocks in Cameroon, Gabon, the Republic of Congo (RoC) and the Democratic Republic of Congo (DRC) including their potential for reducing emissions from deforestation and forest degradation (REDD+). In *The Land/Ocean Interactions in the Coastal Zone of West and Central Africa*, Springer, Cham, pp. 177-189.

Ajonina, G., Aya, F. A., Diame A., Armah, A. K., Camara, S., Amengankpoe, C., Zabbey N. & Kaya, P., 2016. Overview of experience of mangrove reforestation in West and Central Africa. *Nigerian Journal of Forestry*. Pages 12-21.

Allen, D. E., Dalal, R. C., Rennenberg, H., Meyer, R. L., Reeves, S., & Schmidt, S., 2007. Spatial and temporal variation of nitrous oxide and methane flux between subtropical mangrove sediments and the atmosphere. *Soil Biology and Biochemistry*, 39(2): 622-631.

Cohen, R., Kaino, J., Okello, J. A., Bosire, J. O., Kairo, J. G., Huxham, M., & Mencuccini, M., 2013. Propagating uncertainty to estimates of above-ground biomass for Kenyan mangroves: A scaling procedure from tree to landscape level", *Forest Ecology and Management*. 310: 968-982.

Direction Générale de la Statistique (DGS), 2015. Résultats globaux du Recensement Général de la Population et des Logements de 2013 du Gabon (RGPL-2013), Libreville. 195 pages.

Direction Générale de la Statistique et des Études Économiques, 1993. Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH 1993), Ministère de la Planification et de l'Aménagement du Territoire, Libreville.

Fatoyinbo T.E. & Simard M., 2013. Height and biomass of mangroves in Africa from ICESat/GLAS and SRTM. *International Journal of Remote Sensing*, 34(2): 668-681.

Field, C., Osborn, J., Hoffman, L., Polsenberg, J., Ackerly, D., Berry, J. et Mooney, H., 1998. Mangrove biodiversity and ecosystem function. *Global Ecology & Biogeography Letters*, 7(1): 3-14.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2007. The world's mangroves 1980-2005. A thematic study prepared in the framework on the Global Forest Resources Assessment 2005. Roma: FAO Forestry Paper 153, 89 p.

Fromard, F., Puig, H., Mougin, E., Marty, G., Betoulle, J.L., Cadamuro, L., 1998. Structure, above-ground biomass and dynamics of mangrove ecosystems: new data from French Guiana, *Oecologia*, 115: 39-53.

Gedan, K. B., Kirwan, M. L., Wolanski, E., Barbier, E. B., & Silliman, B. R., 2011. The present and future role of coastal wetland vegetation in protecting shorelines: answering recent challenges to the paradigm. *Climatic Change*, 106(1): 7-29.

Ghazali, N., Zainuddin, K., Zainal, M. Z., Dali, H. M., Samad, A. M., & Mahmud, M. R., 2016. The potential of mangrove forest as a bioshield in Malaysia. In 2016 IEEE 12th International Colloquium on Signal Processing & Its Applications (CSPA), IEEE, pages 322-327.

Gleeson, J., Santos, I. R., Maher, D. T., & Golsby-Smith, L., 2013. Groundwater–surface water exchange in a mangrove tidal creek: evidence from natural geochemical tracers and implications for nutrient budgets. *Marine Chemistry*, 156 : 27-37.

Goxe J., McCoy S., Kotopeu W., Foullonneau Z., 2016. « Protocole de suivi de la végétation : suivi de dépérissement en aval de l'usine de Vale NC », 24 p.

Guay-Okanga, M., 2002. Organisation d'un système de villes macrocéphalique et perspectives de restructuration : Le cas du Gabon. Thèse présentée à l'Université Laval pour le grade de Ph. D., Québec, 336 pages.

Habshi, A. A., Youssef, T., Aizpuru, M., Blasco, F., 2007. New mangrove ecosystem data along the UAE coast using remote sensing. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 10(3) : 309-319.

Hamidi O., Ouazzani Touhami A., Benkirane R. et Douira A., 2014. Élaboration d'un guide de santé des forêts relatif à la décision du déliègeage au niveau de la subéraie de la Mamora (Maroc), *Journal of Applied Biosciences*, 84: 7730 – 7739.

- Heumann, B.W., 2011. Satellite remote sensing of mangrove forests: Recent advances and future opportunities. *Progress in Physical Geography*, 35: 87-108.
- Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., & Pidgeon, E., 2014. Coastal blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature. Arlington, Virginia, USA, 180 p.
- Imbert D, 1985. Organisation spatio-temporelle des communautés végétales dans la mangrove du grand Cul-de- sac marin (Guadeloupe). Université de Montpellier II, Thèse de doctorat, 132 p + annexes.
- Jain, A. K., 2006. The concept of bio-drainage in flood prevention and the avoidance of water scarcity. *International Journal of Environmental studies*, 63(1): 39-48.
- Kauffman J.B. Hughes, R. F., & Heider, C., 2009. Carbon pool and biomass dynamics associated with deforestation, land use, and agricultural abandonment in the neotropics. *Ecological Applications*. 19(5): 1211-1222.
- Kauffman J.B. et Donato D., 2012. Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forests. Center for International Forestry Research Center (CIFOR), Working paper, 50p.
- Kauffman J.B., Heider, C., Norfolk, J. & Payton, F., 2014. Carbon stocks of intact mangroves and carbon emissions arising from their conversion in the Dominican Republic. *Ecological Applications*. 24(3): 518-527.
- Kauffman, J. B. & Bhomia, R. K., 2017. Ecosystem carbon stocks of mangroves across broad environmental gradients in West-Central Africa. *PloS one*, 12(11): 17.
- Komiyama, A., Pongpan, S., Kato, S., 2005. Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. *Journal of Tropical Ecology*, 21(4): 471-477.
- Lebigre, J.M., 1983. Les mangroves des rias du littoral gabonais. Essai de cartographie typologique. In *Revue Bois et Forêts des Tropiques*, n° 199, 1er trimestre, pages 3-28.
- Li, X., Yeh, A. G.-O., Wang, S., Liu, K., Liu, X., Qian, J., Chen, X., 2007. Regression and analytical models for estimating mangrove wetland biomass in South China using Radarsat images, *International Journal of Remote Sensing*, 28(24): 5567 – 5582.
- Lovelock, C. E., Cahoon, D. R., Friess, D. A., Guntenspergen, G. R., Krauss, K. W., Reef, R., et Saintilan, N., 2015. The vulnerability of Indo-Pacific mangrove forests to sea-level rise. *Nature*, 526(7574): 559-563.
- Maloba-Makanga, J. D., 2011. Les précipitations au Gabon : climatologie analytique en Afrique. L'Harmattan, Paris, France, 144 pages.

- Manson, F. J., Loneragan, N. R., Skilleter, G. A., & Phinn, S. R., 2005. An evaluation of the evidence for linkages between mangroves and fisheries: a synthesis of the literature and identification of research directions. In *Oceanography and marine biology*. CRC Press, pages 493-524.
- Nagelkerken, I. S. J. M., Blaber, S. J. M., Bouillon, S., Green, P., Haywood, M., Kirton, L. G. et Somerfield, P. J., 2008. The habitat function of mangroves for terrestrial and marine fauna: a review. *Aquatic botany*, 89(2): 155-185.
- Okanga-Guay M., Mpie Simba C., Ndonghan Iyangui N., Moussavou G., Obiang Ebanega M., Biboutou A. S., Nkoumakali B. et Mintsu Nguema R., 2018. Transformations des paysages périurbains de Libreville (Gabon) : dynamiques de l'occupation du sol par télédétection de la zone de Bambouchine - Bikélé, 1990-2014. *Revue canadienne de géographie tropicale/Canadian journal of tropical geography [En ligne]*, 5(2): 25-33.
- The World Conservation Union (IUCN), 2006. Conservation Benefits of Mangroves. Octobre, IUCN Policy Brief, 6 p.
- Winarso, G., Darmawan, Y.V.S. 2015. Mangrove above ground biomass estimation using combination of Landsat 8 and alos palsar data, *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*. 12(2): 85-96.