

Les moteurs de la déforestation des mangroves urbaines du Grand Libreville (Gabon)

Marjolaine Okanga-Guay, Laetitia Guylia Rogombe, Emmanuel Ondo Assoumou, Aline Lembe Bekale, Igor Akendengue Aken and Jean-Bernard Mombo

Volume 22, Number 1, April 2022

Varia

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1092285ar>

DOI: <https://doi.org/10.4000/vertigo.35668>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Université du Québec à Montréal
Éditions en environnement VertigO

ISSN

1492-8442 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Okanga-Guay, M., Rogombe, L. G., Ondo Assoumou, E., Lembe Bekale, A., Akendengue Aken, I. & Mombo, J.-B. (2022). Les moteurs de la déforestation des mangroves urbaines du Grand Libreville (Gabon). *VertigO*, 22(1), 1–36.
<https://doi.org/10.4000/vertigo.35668>

Article abstract

Despite their importance to the stability and health of coastal environments, mangroves are under significant pressure, mostly from anthropogenic origins. The objectives are to measure the reduction of mangrove areas between 2007 and 2020 in the urban area of Greater Libreville (Gabon) and to identify the drivers of deforestation. To do this, two complementary methods were applied: an analysis of the land use dynamics of three characteristic sites, based on orthophotos of very high resolution provided by Maxar Technologies, and direct observations. Thus, between 2007 and 2020, land use changes in Okala-Angondjé, Lowé and Igoumié are mainly marked by the progression of buildings and their encroachment on vegetation. All sites have experienced a net mangrove regression: 35.6 ha in Okala-Angondjé, 46.9 ha in Lowé and 36.6 ha in Igoumié, resulting in an overall deforestation rate of 0.8%/year. Anthropogenic retreats represent 57% of the regressions in Okala-Angondjé, 96% in Lowé River and 78% in Igoumié area. The drivers of deforestation are multiple: residential expansions, installation of fishing districts, hotel or tourist establishments, creation and extension of garbage dumps, industrialization and port development and energy installations. Other economic activities (agriculture, livestock and aquaculture) have caused some deforestation of mangroves, but to a lesser extent. However, the annual rate of urban mangrove deforestation in Gabon's Estuary Province is higher than the mean rate of global mangrove deforestation.



Les moteurs de la déforestation des mangroves urbaines du Grand Libreville (Gabon)

Marjolaine Okanga-Guay, Rogombe Laetitia Guylia, Ondo Assoumou
Emmanuel, Lembe Bekale Aline, Akendengue Aken Igor et Mombo Jean-Bernard

Introduction

- 1 Les forêts de mangrove jouent un rôle essentiel dans la stabilité (Alongi, 2008) et la santé des environnements côtiers. Ces « milieux inféodés à la zone de balancement des marées et composés d'espèces végétales morphologiquement et physiologiquement adaptées » (UICN, 2017, p. 8), apportent une multitude de bénéfices et de services écosystémiques. Ils constituent aussi bien des zones de frayère et nurserie pour de nombreuses espèces halieutiques, que d'habitats pour la faune et la flore (Field et al., 1998 ; Manson et al., 2005 ; Nagelkerken et al., 2008 ; Aburto-Oropeza et al., 2008). Ils contribuent à l'énorme puits de carbone côtier en séquestrant le carbone dans la matière aérienne et surtout dans le sol (Bouillon et al., 2011; Donato et al., 2011; Kauffman et Bhomia, 2017). Quoiqu'elles puissent subir des dommages, les mangroves ont le pouvoir d'atténuer et de s'adapter aux impacts du changement climatique (Howard et al., 2014 ; Lovelock et al., 2015 ; Ghazali et al., 2016).
- 2 Malgré leur importance, les mangroves de la planète sont soumises à des pressions importantes. Outre les conditions environnementales extrêmes pour lesquelles elles sont adaptées (forte salinité, températures, marées, sédimentation et sols vaseux anaérobiques) (Giri et al., 2011), elles peuvent être vulnérables aux tsunamis et tempêtes (Alongi, 2008) et, surtout, à la déforestation et la dégradation causées par des moteurs anthropiques. En effet, la destruction des mangroves est habituellement fortement corrélée à la densité de population humaine (Alongi, 2002). À l'échelle mondiale, les activités humaines, telles que l'agriculture, l'aquaculture, le tourisme, le

développement urbain et la surexploitation des ressources forestières des mangroves, contribuent fortement au recul de leurs surfaces (Spalding et al., 1997 ; Alongi, 2002 ; Webber et al., 2016).

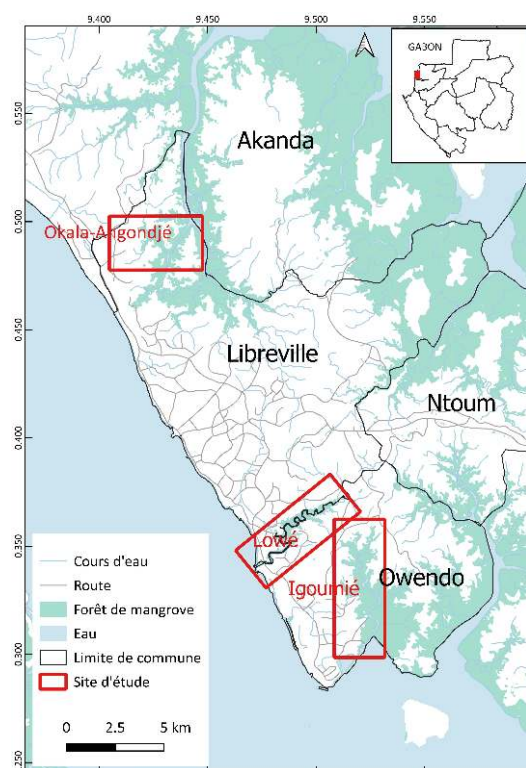
- 3 Les mangroves gabonaises étaient estimées à environ 1890 kilomètres carrés en 2015 (AGEOS, 2020 ; Nzigou Boucka, 2021) et sont distribuées dans trois grandes régions littorales : les rives estuariennes du Nord (estuaires du Rio Mouni, du Komo et de la Baie de la Mondah), le delta de l'Ogooué au centre, et les berges lagunaires (Nkomi, Iguéla, Ndougou et Banio) et fluviales (embouchure du fleuve Nyanga) du Sud. À l'échelle nationale, les mangroves ont perdu une surface estimée à 685 kilomètres carrés entre 1980 et 2005 (Howard, 2014) et 54 kilomètres carrés entre 2000 et 2010 (Ajonina et al., 2016). Entre 2000 et 2014, dans la seule région de Libreville, les pertes ont été évaluées à 86,01 kilomètres carrés, contre des gains de 49,71 kilomètres carrés (Okanga-Guay et al., 2019).
- 4 Cette étude a pour objectifs, d'une part, de vérifier si la déforestation de mangrove est toujours en cours dans l'espace urbain du Grand Libreville et, d'autre part, d'identifier les moteurs de ladite déforestation dont les manifestations sont facilement discernables, aussi bien à l'œil nu que par imagerie aérienne ou satellitaire. La déforestation de la mangrove concerne ici des surfaces ayant subi une conversion d'un couvert forestier, constitué de mangrove, à une autre forme d'occupation du sol (FAO, 2007a). Elle n'inclut pas les dégradations, qui sont un processus temporaire ou permanent pouvant se manifester par une perte de densité, de carbone ou de biodiversité, et une réduction de la capacité d'une forêt à fournir des biens et services (FAO, 2002 ; FAO, 2007a). Les indicateurs de la dégradation sont plus complexes à mesurer, et peuvent varier en fonction de la définition de dégradation retenue (Simula, 2009). La mesure de la dégradation nécessiterait l'existence de données antérieures et actuelles sur la biodiversité (végétale et animale), la biomasse, le fonctionnement, la fertilité des sols, et *cetera* pour attester d'une perte, donc d'une dégradation - ce qui n'est pas le cas pour les sites étudiés.
- 5 Les moteurs de la déforestation sont des facteurs contribuant à la conversion de l'occupation du sol. Les relations entre les facteurs directs et la déforestation sont plus facilement discernables que les facteurs sous-jacents (Hosonuma et al., 2012). Les activités humaines, considérées comme des moteurs directs de la déforestation, sont ici analysées. Parmi ces activités, l'extension des terres agricoles, l'urbanisation, (UICN-PC, 2014), la construction des infrastructures et les activités industrielles seront recensées. Les facteurs sous-jacents, qui ne seront pas explorés ici, sont des processus sociaux fondamentaux, tels que les dynamiques démographiques ou les politiques agricoles. Ces facteurs sous-tendent les causes immédiates et agissent au niveau local, ou bien ont un impact indirect au niveau national ou mondial (Geist et Lambin, 2002).

Sites d'étude

- 6 Le Grand Libreville, composé de la capitale du Gabon, Libreville, et des communes voisines Akanda, Owendo et Ntoum, est situé au nord-ouest du pays, entre l'estuaire Komo (Sud-Est) et la Baie de la Mondah (Nord-Ouest). En 2013, cette agglomération concentrait 838 000 personnes sur un espace d'environ 825 kilomètres carrés, soit une densité globale d'environ 1015 habitants au kilomètre carré; toutefois, certains secteurs de Libreville dépassent 3700 habitants au kilomètre carré (République Gabonaise, 2015).

La région étudiée est bordée de nombreuses mangroves longeant les cours d'eau et les baies. Ces mangroves sont composées des 6 espèces pures présentes au Gabon : *Rhizophora harrisonii*, *Rhizophora racemosa*, *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Cornocapus erectus* et *Laguncularia racemosa* (Lebigre, 1983). Le site Okala-Angondjé, d'une superficie de 1315 hectares, se situe dans la partie Nord du Grand Libreville (Figure 1), à cheval sur les communes d'Akanda et de Libreville. Le quartier Okala est situé dans le 1^{er} arrondissement de Libreville, alors que le quartier Angondjé est localisé dans le 2^e arrondissement d'Akanda. Ces quartiers, majoritairement résidentiels, ont un développement assez récent. Quelques activités touristiques et commerciales de proximité s'intègrent à ces quartiers résidentiels. Le site de la rivière Lowé couvre une superficie de 1537 hectares, partant de l'amont de cette rivière, située au quartier Mindoubé, jusqu'à son exutoire au pont Nomba. Les quartiers sont fortement urbanisés et ont une forte densité humaine. Ils sont marqués par des activités économiques diverses (industrielles, commerciales, pêche, scieries, et *cetera*) intercalées de zones résidentielles. Le site de la rivière Igoumié, dans la commune d'Owendo, couvre une superficie de 1815 hectares. Ce cours d'eau sépare les 1^{er} et 2^{ème} arrondissements de ladite commune. L'occupation humaine est dense au Sud et en progression au nord du site. Les quartiers de la rive droite sont caractérisés par des zones résidentielles et industrielles (usines de bois, production d'électricité, activités portuaires) alors que la rive gauche abrite des quartiers résidentiels diffus et des zones agricoles.

Figure 1. Localisation des mangroves urbaines d'Okala-Angondjé, Lowé et Igoumié / Location of Okala-Angondjé, Lowé and Igoumié urban mangroves



Méthodologie

- 7 L'identification des moteurs de la déforestation des mangroves urbaines du Grand Libreville a été faite avec l'application de deux méthodes complémentaires, à savoir : d'une part, une analyse de la dynamique de l'occupation du sol autour des mangroves de trois sites caractéristiques, suivant une méthodologie basée sur la télédétection et les systèmes d'information géographique (FAO, 2007a) et, d'autre part, des observations directes sur le terrain.
- 8 Les orthophotos à très haute résolution qui ont été utilisées proviennent de la base de données active et archivée de *Google Earth* (Tableau 1). Elles n'intègrent que les couleurs visibles, soit le rouge, vert et bleu (RVB). Pour l'échelle d'analyse, les images ont été fournies par Maxar Technologies et ont une résolution variant de 0,35 mètre (pivot 2020) à 2 mètres (2003). L'image du 12 juin 2007 a été utilisée pour les sites d'Okala-Angondjé, Lowé et Igoumié. Toutefois, le site d'Igoumié a nécessité le complément d'une image du 17 mai 2003 pour couvrir certains secteurs non couverts par l'image de 2007. Pour le pivot 2020, des mosaïques d'images de 2019 à 2021 ont été créées afin de couvrir tous les secteurs des trois sites.

Tableau 1. Composition des mosaïques d'images utilisées / Image mosaics used

MOSAÏQUE	Okala-Angondjé	Rés.	Lowé	Rés.	Igoumié	Rés.	Fournisseur
2007	12 juin 2007	2m	12 juin 2007	2m	17 mai 2003	2m	Maxar Technologies (via Google Earth)
					12 juin 2007	2m	
2020	6 décembre 2019	1,2m	5 mars 2019	0,6m	5 mars 2019	0,5m	
	13 janvier 2020	0,60m	25 décembre 2019	0,5m	25 décembre 2019	0,5m	
	8 janvier 2021	0,35m	13 décembre 2020	0,35m	13 décembre 2020	0,35m	

- 9 L'analyse de la dynamique d'occupation du sol des zones d'étude a d'abord requis la cartographie de l'occupation du sol des années 2007 et 2020. Les zones d'étude étant relativement petites, de 1315 à 1814 hectares, les images ont fait l'objet d'une photo-interprétation et d'une numérisation manuelle minutieuse. Elles ont été classées en 9 classes à l'aide d'une clé d'interprétation (Tableau 2) : eau, sol nu, végétation herbacée et arbustive, forêt marécageuse, forêt de terre ferme, forêt de mangrove, plantation et culture, bâti et décharge. L'analyse diachronique des classes n'a pas posé de difficulté. Seulement, il a été constaté que la classe de forêt marécageuse n'était présente que sur un seul site alors que la classe décharge était absente sur l'un des sites.

Tableau 2. Classification par photo-interprétation de l'imagerie optique dans les sites d'Okala-Angondjé, Lowé et Igoumié / Classification by photo-interpretation of optical imagery in the Okala-Angondjé, Lowé and Igoumié

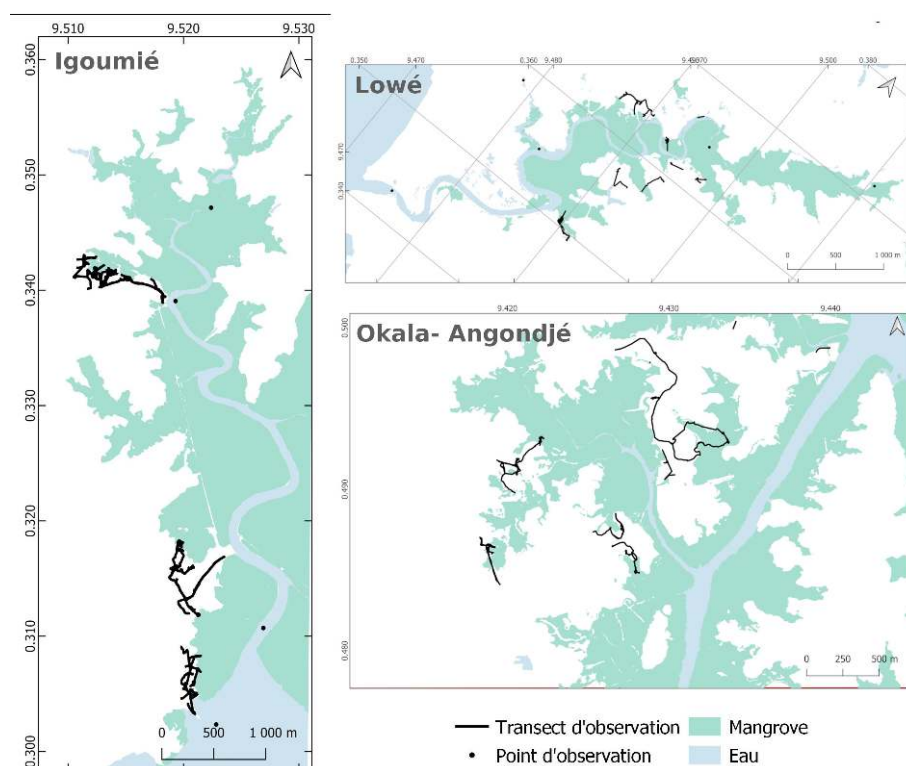
CLASSES	ÉCHANTILLONS	DESCRIPTION
Eau		La classe « eau » est constituée de plans et de cours d'eau (ruisseaux, rivières, bras de mer, estuaires, baies, lacs, étangs).
Sol Nu		Les surfaces de sable, de terre et de vase sont représentées par la classe « sol nu ».
Végétation Herbacée et Arbustive		La « végétation herbacée et arbustive » est illustrée par les étendues de savane herbeuse et arbustive, d'herbes, de pelouses entretenues ou non qui peuvent être ponctuées d'arbustes ou de quelques rares arbres isolés.
Forêt Marécageuse		Les « forêts marécageuses » se distinguent par un regroupement d'arbres qui est monodé de façon permanente ou récurrente.
Forêt de Terre Ferme		La forêt de terre ferme est généralement constituée d'îlots forestiers urbains et visuellement de texture très irrégulière.
Forêt de Mangrove		Les « forêts de mangrove » sont constituées d'espèces adaptées à la zone de balancement des marées et se localisent en bordure de rivière, de bras de mer, de baie et d'estuaire.
Plantation et Culture		Les « plantations et cultures » sont identifiables par la juxtaposition de la végétation, souvent disposées en sillons ou sous serre. L'agriculture pratiquée est traditionnelle ou moderne.
Bâti		Le « bâti » est caractérisé par un territoire parsemé de constructions diverses (achevées ou inachevées, privées ou publiques, infrastructures de transports, etc.).
Décharge		La « décharge » se distingue par un espace dégagé, souvent surélevé par rapport à la topographie environnante, de texture très rugueuse où des pistes d'engins lourds peuvent être discernables.

- 10 La numérisation des polygones s'est faite sur QGIS 3.10.11, à l'aide de l'extension / connexion XYZ Tiles donnant accès au fond de Google Earth. Les fichiers ont été sauvegardés sous forme *shapefile* (.shp), tableur (.xlsx) et partiellement *Keyhole Markup Language* (.kmz). Les superficies des classes ont été calculées pour 2007 et 2020. Leur comparaison a permis de quantifier et de localiser les changements opérés entre les deux années.
- 11 N'ayant pas des données de terrain de 2007 qui permettent de vérifier la précision de la classification pour cette même année, seule la précision de la cartographie de 2020 a été évaluée grâce à une matrice de confusion obtenue à partir des observations de terrain et de la classification des orthophotos faite par photo-interprétation. Les omissions (Équation 1) et commissions (Équation 2) de pixel, puis les précisions de classe (Équation 3) et globales (Équation 4) (Congalton et Green, 2009), ont été calculées à partir de la superposition des couches photo-interprétées et des zones de validation terrain relevées en parallèle de la collecte de données sur les moteurs de déforestation de la mangrove. Ces observations ont été menées les 12 et 14 novembre 2020 pour la zone d'Okala-Angondjé, les 10 et 12 février 2021 pour la zone de la rivière Lowé et les 13 février, 23 février et 4 mars 2021 pour la zone de la rivière Igoumié.
- 12 Équation 1 : Omissions = $\Sigma P_{ih} / P_{tc}$ et équation 2 : Commissions = $\Sigma P_{iv} / P_{tc}$, où P_{ih} est le nombre de pixels classés dans une classe, mais que ne devrait pas l'être, P_{iv} est le nombre de pixels incorrectement classés pour une classe et P_{tc} est le nombre total de pixels pour une classe.
- 13 Équation 3 : Précision de classe = $P_c / (P_c + P_o + P_{cm})$ et équation 4 : Précision globale de la classification = $\Sigma P_c / P_t$, où P_c est le nombre de pixels correctement classés pour une

classe, P_o est le nombre de pixels d'omission pour une classe, P_{cm} est le nombre de pixels de commission pour une classe et P_t est le nombre total de pixels.

- 14 L'analyse en composantes principales (ACP) a été utilisée pour faire une description multidimensionnelle des sites et des différentes classes d'occupation du sol (Taheri et al., 2009 ; Zaki et al., 2016). Elle a pour principal avantage de réduire le nombre de variables et la redondance de l'information. Par la suite, les progressions et régressions de la classe mangrove ont été localisées, mesurées et analysées, afin de calculer le taux de déforestation annuel (Équation 5) (Rakotomala et al., 2015) . Grâce également à la numérisation des polygones, le taux de déforestation annuel a été calculé et la dynamique de chaque classe d'occupation a pu être exprimée. Combinées au déplacement du front urbain, dérivé de la progression de la classe bâti, les zones de pressions ont ainsi été repérées.
- 15 Équation 5 : Taux de déforestation annuel (pourcentage par an) = $((S_2 - S_1) / S_1 * 100) / N_A$, où S_1 est la surface occupée par la forêt au Temps 1, S_2 est la surface occupée par la forêt au Temps 2 et N_A est le nombre d'années entre les Temps 1 et 2.
- 16 Postérieurement à la cartographie de l'occupation du sol, où les sites de déforestation ont été identifiés, des transects d'observation sur le terrain ont permis d'examiner et de documenter les différents moteurs de la déforestation des mangroves urbaines (Figure 2). La sélection des transects et des points d'observation s'est faite au hasard lorsque les trois équipes terrain, constituées d'environ cinq personnes chacune, ont atteint les sites. Les variables observées sont : la présence/absence de mangrove dans les zones précédemment couvertes de mangrove (identifiées par les orthophotos et la cartographie de l'occupation du sol), l'inventaire des structures et activités implantées sur ces zones. Ces informations sont notées sur des fiches de collecte.

Figure 2. Localisation des transects et points d'observation dans les trois sites d'étude / Location of observation transects and points in the three study sites



- 17 Les sites de la déforestation ont été classés selon le type de moteur en œuvre : anthropique ou naturel. Cette classification résulte en grande partie des observations de terrain et, dans une moindre mesure, de la photo-interprétation des changements. Avec la dernière méthode, certains indices anthropiques sont visibles sur les orthophotos de très haute résolution (arbres coupés et mis en tas, déforestation en ligne droite, remplacement d'un secteur de mangrove par du bâti, des réseaux ou terrains aménagés, et *cetera*). Les moteurs naturels de déforestation n'ont pas été analysés. Celle-ci peut être causée par le stress hydrique saisonnier ou périodique (lors des saisons sèches), les maladies et les parasites, le dévasement, l'ensablement, la tannification¹, ou encore la création d'obstacles qui empêchent l'alimentation en eau salée ou douce.

Résultats

Dynamique d'occupation du sol entre 2007 et 2020

- 18 En associant les trois sites d'étude, les éléments structurants du paysage sont l'eau, les sols nus, la végétation herbacée et arbustive, les forêts marécageuses, les forêts de terre ferme, les forêts de mangroves, le bâti, les plantations et cultures, et les décharges. En 2007, le site Okala-Angondjé est encore peu impacté par l'homme (Tableau 3). En effet, quasiment 80% de la zone est recouverte par différentes formations végétales. La végétation herbacée et arbustive domine avec 437,9 hectares, soit plus de 33% du territoire. Elle est suivie de la forêt de mangrove avec 398,6 hectares, soit plus de 30%, et de la forêt de terre ferme avec 210,3 hectares, soit 16% de la surface. Le bâti, présent à l'ouest de la zone, compte pour 175,6 hectares, soit à peine 13% de la surface. La tache

urbaine est formée de deux blocs, une au Nord-Ouest et l'autre au Centre-Ouest jusqu'au Sud-Ouest. Une légère dispersion du bâti forme une couronne très relâchée aux abords de la tache ayant le caractère d'un milieu rural.

Tableau 3. Dynamique de l'occupation du sol à Okala-Angondjé, Lowé et Igoumié, 2007-2020 / Land use dynamics in Okala-Angondjé, Lowé and Igoumié sites, 2007-2020

	Okala-Angondjé			Lowé			Igoumié		
	2007	2020	Dyn.	2007	2020	Dyn.	2007	2020	Dyn.
Eau	73,7	70,5	-3,2	206,8	187,7	-19,1	175,0	164,7	-10,3
Sol nu	19,3	64,4	45,0	53,8	92,3	38,4	40,6	45,9	5,4
Végétation herbacée et arbustive	437,9	247,7	-190,2	424,6	265,5	-159,1	489,5	283,4	-206,1
Forêt marécageuse	0,0	0,0	0,0	17,8	23,1	5,3	0,0	0,0	0,0
Forêt de terre ferme	210,3	170,7	-39,6	104,1	51,6	-52,5	133,9	83,0	-50,9
Forêt de mangrove	398,6	363,0	-35,6	203,7	156,8	-46,9	560,0	523,4	-36,6
Plantations, cultures	0,0	10,3	10,3	3,4	6,6	3,3	0,0	16,7	16,7
Bâti	175,7	388,8	213,2	520,6	748,3	227,7	415,8	693,2	277,4
Décharge	0,0	0,0	0,0	2,5	5,5	3,0	0,0	4,3	4,3
Total	1315,4	1315,4		1537,3	1537,3		1814,7	1814,7	

Réalisation d'après les données d'occupation du sol; images GE/Maxar Technologies.

- 19 Dans la zone de la rivière Lowé, le bâti occupe la plus grande surface avec 520,6 hectares, soit presque 34% en 2007. Il a une emprise particulièrement importante autour de l'embouchure de la rivière. En effet, l'axe principal reliant Libreville et Owendo est un puissant vecteur d'urbanisation. Le quartier Mindoubé, situé sur la rive droite en amont de la rivière est, lui aussi, fortement urbanisé en 2007. Toutefois, la rive gauche, dans le même secteur, est très faiblement impactée par le bâti. La végétation herbacée et arbustive occupe la deuxième position en termes de surface, soit 424,6 hectares ou 27,6% du territoire étudié. Elle s'oppose au bâti en occupant plutôt le secteur est de la zone et est particulièrement importante sur la rive sud, à Owendo. L'eau est constituée principalement de la rivière Lowé et de ses affluents, mais aussi de quelques lacs et étangs en amont de la rivière. Leur surface totale est de 206,8 hectares, soit 13,5% de la zone. La mangrove, d'une superficie totale de 203,7 hectares, soit 13,2% de la zone, a des surfaces plus importantes dans les premiers 2/3 de la rivière, alors qu'elle est totalement absente de l'embouchure. Les autres formes d'occupation du sol, c'est-à-dire la forêt de terre ferme, le sol nu, la forêt marécageuse, les plantations ou cultures et la décharge de Mindoubé, sont faiblement représentées dans cette zone : elles totalisent seulement 181 hectares, soit un peu plus de 11%. En outre, les forêts de

terre ferme ne sont constituées que de petits îlots forestiers répartis sur les deux rives, et sont davantage présentes dans les zones basses ou en pentes très localisées.

- 20 En 2007, l'élément surfacique le plus remarquable dans le site de la rivière Igoumié est l'emprise de la mangrove, qui s'élève à 560,0 hectares, soit 30,9% de la surface du site. La mangrove occupe les rives droite et gauche et les affluents de la rivière Igoumié. Toutefois, elle est réduite à un îlot coincé entre le secteur portuaire et le débarcadère au sud. Elle est suivie de la végétation herbacée et arbustive avec 489,5 hectares, soit 27 % de la zone. Celle-ci est localisée sur la rive droite près de la rivière, mais surtout dans le secteur nord, en tête de rivière. Le bâti s'étend sur une superficie de 415,8 hectares, soit 22,9 % du territoire étudié. Il n'est présent que sur le Centre-Ouest et concentré dans les quartiers Ngindabato, Awoungou et, dans une moindre mesure, à Alénakiri, dont le tissu urbain est encore lâche. Les autres formes d'occupation du sol représentent environ 20% du territoire restant, soit 175,0 hectares pour l'eau, 133,9 hectares pour la forêt de terre ferme et 40,6 hectares de sol nu. Les plantations ou cultures, ainsi que les décharges, sont absentes en 2007.
- 21 En 2020, le territoire d'Okala Angondjé est toujours dominé par la végétation à 60%, localisée surtout dans la moitié est de la zone, mais dans des proportions différentes par rapport à 2007 (Tableau 3). La forêt de mangrove a une superficie de 363 hectares (27,6%), suivie de la végétation herbacée et arbustive avec 247,7 hectares (18,8%) et la forêt de terre ferme avec 170,7 hectares (13,0%). Toutefois, le bâti compte pour une grande part dans l'occupation du sol, soit 388,8 hectares (29,6%). Les surfaces cultivées occupent très peu de place.
- 22 Dans le secteur Lowé, en 2020, l'élément surfacique le plus remarquable est l'emprise du bâti qui s'élève à 748,3 hectares, soit 48,7% de la surface de la zone. Le bâti occupe les rives droite et gauche, mais il n'a pas tout à fait atteint la source de la rivière Lowé. Il est suivi de la végétation herbacée et arbustive avec 265,5 hectares, soit 17,3 % du site. Celle-ci est localisée près de la rivière, pour les secteurs fortement bâtis, et en amont de celle-ci. Les étendues d'eau, constituées principalement de la rivière Lowé et de ses affluents, recouvrent 187,7 hectares, soit 12,2% du territoire. La mangrove occupe 156,8 hectares, soit 10,2% de la zone d'étude, et est située dans les premiers 2/3 de la rivière ; elle est quasi inexistante dans les environs de l'exutoire. Elle est souvent bordée de grandes étendues de sols nus, totalisant 92,3 hectares, soit 6% de la surface totale. Les autres formes d'occupation du sol (la forêt de terre ferme, la forêt marécageuse, les plantations et cultures, et la décharge) ont des superficies entre 5,5 et 51,6 hectares. Il existe peu d'îlots forestiers.
- 23 Le bâti est la classe d'occupation du sol la plus importante à Igoumié, avec 693,2 hectares, soit 38,2% de la zone étudiée. Il est présent sur quasiment toute la surface ouest et s'investit aussi fortement au nord. Les surfaces urbanisées sont toutefois encore peu répandues au nord-est. La mangrove occupe 523,4 hectares, soit 28,8% de la zone. Toute la partie longeant le cours d'eau principal et ses affluents sont bordés de mangroves. La végétation herbacée et arbustive, qui s'étend sur 283,4 hectares ou 15,6 %, prend la troisième place en termes de surface. Cette végétation est très éparse sur la rive ouest. Mais, elle est prépondérante en tête de cours d'eau et sur la terre ferme du secteur nord-est. L'eau représente 164,7 hectares, ou 9,1%, de la zone. La forêt de terre ferme, le sol nu, les plantations et cultures et la décharge occupent des superficies beaucoup plus modestes avec respectivement 83,0 (4,6%), 45,9 hectares (2,5%), 16,7 hectares (0,9% et 4,3 hectares (0,2%). En particulier, les forêts de terre ferme et les

plantations sont situées dans le secteur nord, dans les zones très peu occupées par le bâti.

- 24 L'analyse en composantes principales met en relief les liens entre les sites ou les types d'occupation du sol. Cette méthode démontre que le premier axe a une variabilité de 59,4%, pour une valeur propre de 5,3 (Tableau 4). Le deuxième axe détient une variabilité de 21,8%, une valeur propre de 2,0 et une variabilité cumulée de 81,1%. Cette valeur est supérieure à la valeur référence de 77,2% obtenue en simulant 899 jeux de données aléatoires de dimensions comparables, sur la base d'une distribution normale. Ceci indique donc que ces deux premiers axes expriment 81,1 % de l'information totale. La variabilité expliquée par ces deux axes est donc significative.

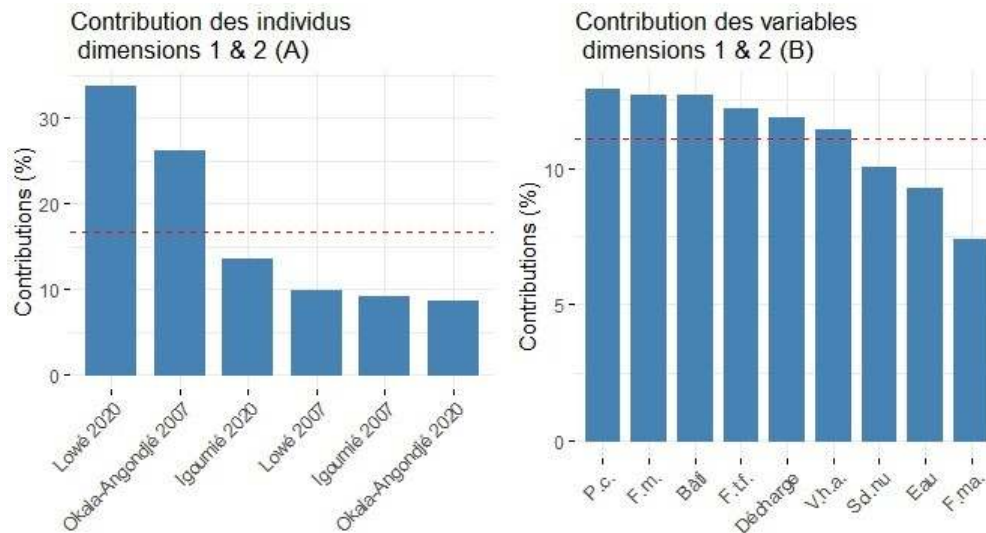
Tableau 4. Variance totale expliquée des dimensions / Explained total variance of dimensions

	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5
Valeur propre	5,3	2,0	1,3	0,3	0,1
Variabilités (%)	59,4	21,8	14,5	3,2	1,1
Variabilités cumulées (%)	59,4	81,1	95,6	98,9	100

Réalisation d'après l'analyse de l'occupation du sol; images GE/Maxar Technologies.

- 25 Les sites (ou individus), qui contribuent le plus dans la formation des deux premiers axes, sont Lowé 2020 et Okala-Angondjé 2007 (Figure 3 A). Ils ont des contributions supérieures à la valeur seuil fixée à 16,7%. En effet, ces sites, pour ces années, démontrent des états les plus contrastés : dans le premier cas, le plus fortement anthropisé ; et dans le second cas, le plus faiblement anthropisé. Ils définissent donc les axes de façon plus marquée que les autres sites, qui ont des contributions plus similaires.
- 26 Toutefois, les contributions des classes d'occupation du sol à la formation des deux axes sont plus mitigées. Avec un seuil fixé qu'à 11,1% (Figure 3 B), la plupart des variables, soit plantations et cultures (P.c), forêt marécageuse (F.m), bâti, forêt de terre ferme (F.t.f), décharge et végétation herbeuse et arbustive (V.h.a), ont une contribution partagée dans la formation des deux premiers axes. Globalement, les forêts de mangrove, l'eau et les sols nus ont des surfaces relativement constantes dans tous les sites et ne contribuent pas à la définition des axes.

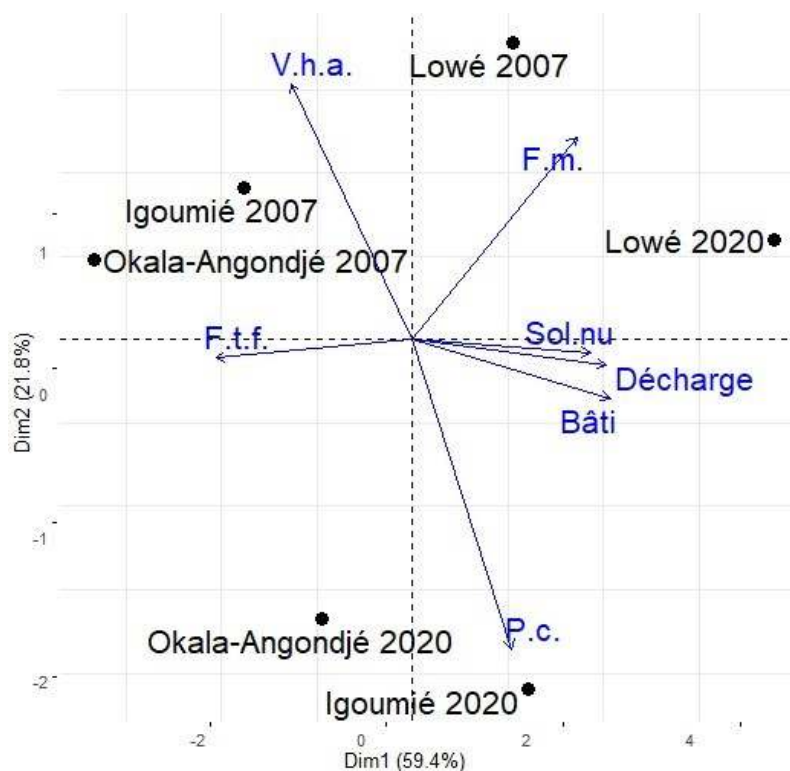
Figure 3. Contributions des individus (sites) et des variables (classes d'occupation du sol) aux dimensions 1 et 2 / Contributions of individuals (sites) and variables (land use classes) to dimensions 1 and 2



V.h.a.= végétation herbeuse et arbustive, F.t.f.=forêt de terre ferme, F.m.= forêt marécageuse et P.c.=plantations et cultures.

- 27 De manière générale, les variables forêt marécageuse (F.m), sol nu, décharge, bâti, et plantations et cultures sont fortement et positivement corrélées à la formation de l'axe 1 (Figure 4). Il en est de même des variables végétation herbeuse et arbustive (V.h.a) et forêt de terre ferme (F.t.f) qui sont négativement corrélées. Dans cet axe, les coefficients de corrélation varient entre 0,6 et 0,9. Les coefficients de corrélation linéaires montrent une proximité entre les variables sol nu, décharge et bâti à la Lowé en 2020. Ce phénomène illustre une forte anthropisation de cette région à cette période. En revanche, en 2007, ces variables s'opposent à la forêt de terre ferme (F.t.f) à Okala-Angondjé et Igoumié. Cela marque une faible conquête spatiale dans ces régions, à cette période.

Figure 4. Analyse en composantes principales des sites et classes d'occupation du sol / Principal component analysis of sites and land use classes



V.h.a.= végétation herbeuse et arbustive, F.t.f.=forêt de terre ferme, F.m.= forêt marécageuse et P.c.=plantations et cultures.

- 28 En 2007, les sites Okala-Angondjé et Igoumié sont marqués par une forte corrélation positive de la végétation herbeuse et arbustive, qui s'oppose aux plantations et cultures. Dans l'ensemble des sites, la végétation herbeuse et arbustive est une caractéristique de 2007, tandis que les plantations et cultures sont une nouvelle caractéristique de l'année 2020 à Okala-Angondjé et à Igoumié. Cette opposition forme le deuxième axe. La forêt marécageuse n'a été clairement identifiée que dans le site de la Lowé, ce qui explique son isolement par rapport au reste des sites et des variables.
- 29 Dans les trois sites, entre 2007 et 2020, les changements d'occupation du sol sont surtout marqués par la progression du bâti et son empiètement sur la végétation. En effet, l'extension urbaine à Okala-Angondjé s'élève à 213,2 hectares, alors que le couvert végétal a régressé de 265,4 hectares. La végétation herbacée et arbustive et la forêt de terre ferme ont respectivement perdu 190,2 hectares et 39,6 hectares, alors que la mangrove a régressé de 35,6 hectares. Le même scénario se répète dans le secteur de la rivière Lowé : une avancée du bâti, sur plus de 227 hectares, au détriment de la végétation herbacée et arbustive (-159,1 hectares), la forêt de terre ferme (-52,5 hectares) et la forêt de mangrove (-46,9 hectares). Mais, cette urbanisation du territoire est aussi illustrée par l'augmentation des surfaces de sol nu (38,4 hectares), qui sont principalement d'origine anthropique. La dynamique urbaine est aussi active dans le site Igoumié avec une progression du bâti de 277,4 hectares, au détriment de certaines formes d'occupation du sol. En effet, le recul a été particulièrement ressenti au niveau de la végétation herbacée et arbustive qui s'est réduite de 206,1 hectares et, de façon moins importante, la forêt de terre ferme (-50,9 hectares). La mangrove a aussi subi les

assauts urbains, avec une régression globale de 36,6 hectares. Dans une très moindre mesure, mais tout de même appréciable, les cultures et plantations, absentes en 2007, se sont développées dans le secteur nord et nord-est en gagnant 16,7 hectares. L'image fait aussi apparaître une nouvelle décharge.

- 30 L'analyse en composantes principales faite précédemment (Figure 4) démontre que la même dynamique s'est produite à Okala-Angondjé et à Igoumié, où les profils, plus naturels en 2007, ont fortement glissés vers une anthropisation. En effet, les classes de forêt de terre ferme et de végétation herbacée et arbustive ont été les plus réduites. Le site de la Lowé, déjà anthropisé en 2007, a accentué son profil en 2020. Il est à remarquer que les classes eau et forêt de mangrove sont absentes du graphique, car elles n'ont pas contribué positivement ou négativement aux changements dans les sites d'étude, vu leur stabilité relative en termes de surface.

Progression du front urbain et pression sur les mangroves

- 31 Entre 2007 et 2020, le front urbain est très mobile dans les trois sites que sont Okala-Angondjé, Lowé et Igoumié. À Okala-Angondjé, le bâti occupait environ 26% du territoire de la rive ouest de la rivière Ambowé en 2007, alors qu'il affecte désormais environ 70% en 2020. Cette progression a suivi les formes du territoire et les axes de pénétration (routes, pistes), laissant d'abord les dépressions marécageuses (Figure 5, en annexe). Le front urbain, assez distinct en 2007, confronté aujourd'hui à la réduction des terrains disponibles, se heurte désormais de plus en plus à la barrière qu'imposent les sols humides en permanence et inondés périodiquement des mangroves. Les terres émergées non construites totalisent à peine 200 hectares, dont une partie est difficilement accessible, sur la rive opposée de la rivière Ambowé à l'Est. De ces terres, une fraction non négligeable n'est pas appropriée à la construction, étant donné la présence de talus et de pentes abruptes, de petits cours d'eau ou de zones marécageuses.
- 32 La tache urbaine évolue sur trois axes majeurs de pression. Le plus important et le plus « ancien », présent déjà en 2007, est l'axe Okala CICIBA situé au centre de la zone d'étude (Figure 4). Le bâti dense a atteint les limites de la terre ferme; donc, toutes les surfaces sont occupées par des constructions ou des parcelles encadrées de barrières. Il reste très peu de surfaces agricoles, et les mangroves de ce secteur sont déjà fortement impactées. Le deuxième axe, au Sud, suit la trajectoire Okala Carrière et Mikolongo. La densité des constructions est moindre, et les grands domaines sont plus nombreux. Mais, là aussi, l'impact anthropique sur la mangrove est présente, avec quelques coupes à blanc ou sélectives. Finalement, l'axe le plus récent prend la direction d'Angondjé Village. Le bâti est beaucoup plus relâché, et le secteur garde encore un caractère rural, malgré la présence de quelques implantations hôtelières ou touristiques, qui ont fortement empiété sur la mangrove.
- 33 La tache urbaine a beaucoup progressé sur le site de la rivière Lowé. Alors qu'en 2007, la surface urbanisée occupait environ 34% de la zone d'étude, en 2021, elle affecte désormais environ 50%. Cette progression est facilitée par les axes de pénétration (routes, pistes), laissant d'abord les dépressions marécageuses. En 2021, le territoire urbanisable restant est estimé à plus de 26% de la zone, alors que l'eau, les forêts marécageuses et de mangroves, représentant environ 24% de la zone d'étude, sont théoriquement non urbanisables. Les axes de pression sur la mangrove sont multiples

et de forte intensité (Figure 6, en annexe). Ils sont particulièrement importants au niveau du cours inférieur de la rivière, des surfaces plus anciennes du bâti des quartiers Acaé et Nomba. Les autres axes de pression urbaine proviennent de l'extension et la densification de Libreville, surtout des quartiers Soduco et Mindoubé.

- 34 Dans la zone de la rivière Igoumié, le front urbain est en pleine progression (Figure 7, en annexe). Il a atteint les limites naturelles du Komo et de l'embouchure de la rivière Igoumié à l'extrême sud, et celles de la mangrove dans le secteur d'Alénakiri et Awoungou. Dans la moitié nord de la zone étudiée, le front urbain a progressé entre 2007 et 2021; mais, il ne s'est pas encore heurté aux terres impropres à la construction. Le secteur nord-est a encore un caractère très rural et n'est occupé que d'habitations très éparpillées et de zones de cultures.
- 35 Ainsi, les axes de pression les plus forts se situent dans les zones portuaire et industrielle d'Alénakiri. La population environnante a procédé à des coupes de mangroves pour étendre les terrains et a contribué à leur recul. Deux autres axes actuels de pression, discernables dans la portion centrale de la rive droite, sont les zones du Lycée Technique et de Rougier. Quoique les destructions de mangroves y soient peu étendues, le front urbain y est très dynamique et le bâti en pleine densification. Les impacts sur les mangroves devraient être ressentis plus intensément dans les années à venir.
- 36 La pression urbaine sur les mangroves se manifeste le plus visiblement par une déforestation. Tous les sites ont connu des régressions de surfaces de mangrove. Toutefois, la résilience de la mangrove est caractérisée par des recolonisations relativement faciles des surfaces disponibles, si les conditions édaphiques le permettent, tel qu'illustrent les progressions de 84,5 hectares enregistrés sur l'ensemble des sites à l'étude (Tableau 5). Ces progressions sont localisées en bordure de rivières, mais aussi aux limites externes des surfaces de mangroves. Elles sont quasiment toutes d'origine naturelle, sauf pour un cas de restauration de mangrove de très petite superficie, à Okala-Angondjé. Ce sont des colonisations ou des recolonisations d'espaces dégradés. Quelques chenaux de marées ont été bouchés par la croissance des palétuviers. Les densifications de mangrove ont aussi été observées.

Tableau 5. Dynamique des surfaces (hectare) de mangroves urbaines du Grand Libreville / Dynamics of urban mangrove areas (ha) in Greater Libreville

	Progression	Régression	Stable
Okala-Angondjé	23,4	59,0	339,6
Lowé	28,9	75,8	127,9
Igoumié	31,8	68,2	491,6
Total	84,1	203,0	959,1

LAGRAC, 2021; élaborée à partir des classifications d'occupation du sol ; d'après les données Maxar Technologies.

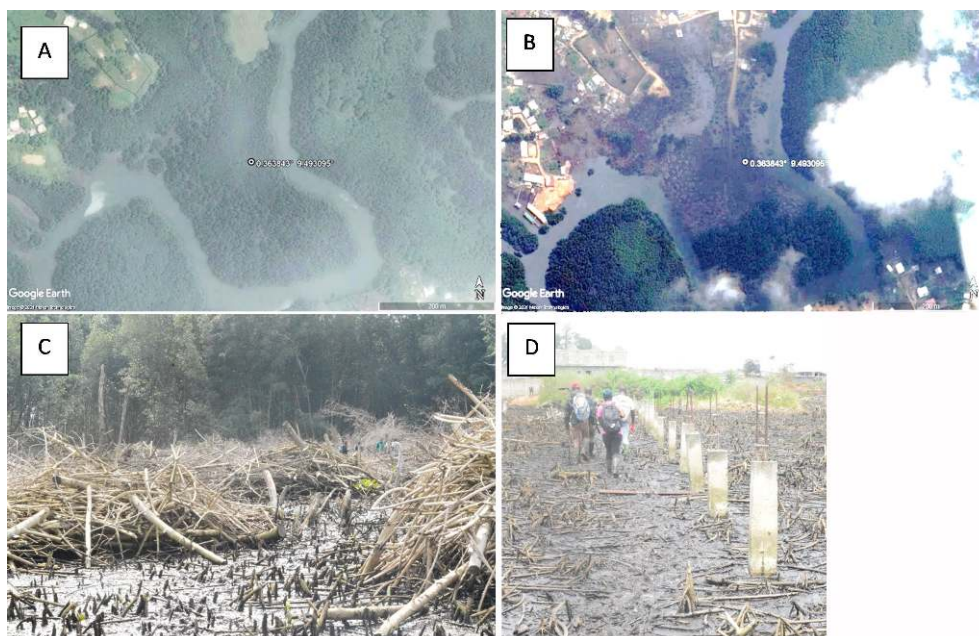
- 37 Les mangroves de la zone d'Okala-Angondjé ont connu des régressions de 57,9 hectares et un taux de déforestation de 0,7% par an. La mangrove de la rivière Lowé a connu des

changements importants de sa surface. Les régressions, qui totalisent 75,8 hectares, sont réparties tout au long de la rivière. Le taux de déforestation pour la période à l'étude s'élève à 1,8% par an. Les régressions issues de processus probablement naturels se situent en tête de cours d'eau principal (ensablement), avec quelques variations sur les berges du cours d'eau. Les reculs affectent surtout la rive droite, située à Libreville, dans les quartiers qui longent la rivière, mais aussi la mangrove de la rive gauche-située dans le cours inférieur de la rivière. Les régressions de mangroves d'Igoumié représentent 68,3 hectares, soit un taux de déforestation de 0,5%/an. Elles sont réparties surtout au sud-ouest de la zone étudiée et au nord. La lisière de la zone de mangrove est en recul.

Moteurs anthropiques de déforestation des mangroves urbaines du Grand Libreville

- 38 Plusieurs moteurs de déforestation ont été recensés dans les trois zones, mais la déforestation dans les sites d'étude est majoritairement d'origine anthropique. Ainsi, elle représente 57% des régressions totales des mangroves à Okala-Angondjé, 96% à la rivière Lowé et 78% dans la zone d'Igoumié. Par conséquent, les mangroves de la Lowé subissent les effets anthropiques les plus intenses, ce qui correspond aussi à une présence humaine beaucoup plus ancienne que dans les autres zones. La vitesse de progression de la tache urbaine, du Sud vers le Nord, de la zone portuaire vers les nouveaux quartiers du 2^e arrondissement d'Owendo, ainsi que la densification citadine, expliquent la forte activité de déforestation dans la zone d'Igoumié. Finalement, les mangroves de la zone d'Okala-Angondjé sont moins affectées par la présence humaine que les deux précédentes. Dans tous les cas, ce sont les phénomènes liés à l'urbanisation qui affectent le plus les mangroves dans le Grand Libreville. Les observations directes sur le terrain, l'analyse des orthophotos et des documents cartographiques sur l'occupation du sol des années 2007 et 2020 ont permis de conclure que plusieurs zones actuelles de sol nu, à la lisière de la mangrove, découlent de coupes à blanc de celle-ci, et de remblais. Ces opérations permettent d'étendre les parcelles privées, commerciales et industrielles.
- 39 Dès 2007, certains secteurs de mangrove étaient menacés par des propriétaires résidentiels qui coupaient les arbres, dans le but d'avoir un accès sur la rivière ou d'étendre leur propriété (Figure 8).

Figure 8. Conquête foncière à Mindoubé (Lowé) / Land conquest in Mindoubé (Lowé)



Vue par télédétection : A, mangrove intacte; B, déforestation; C, observation au sol de la coupe à blanc. D illustre la délimitation de nouvelles parcelles.

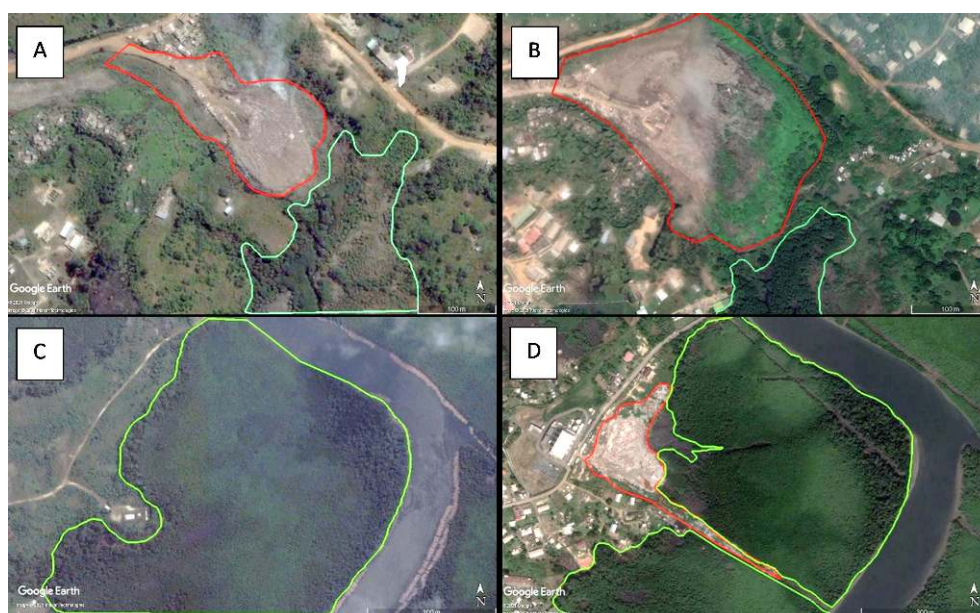
Sources A et B : GE/Maxar Technologies, 28/02/2015 et 09/08/2020 ; Clichés C et D : LAGRAC, 10/02/2021.

- 40 Le bâti existant en 2007 s'est densifié et s'est étalé jusqu'aux abords des mangroves, dans la partie ouest de la zone d'Okala-Angondjé et Igoumié. C'est aussi le cas des deux rives de la rivière Lowé, où la progression de la densification urbaine est toujours en cours. Ainsi, l'urbanisation compte pour 44,7% des déforestations d'origine anthropique dans les sites d'étude. Au fur et à mesure que la pression devient forte, il devient inévitable que des particuliers ou des promoteurs empiètent sur la mangrove pour en produire des territoires viables, soit par les remblais², soit en adaptant la construction (exemple de maisons sur pilotis). Mais les propriétaires terriens riverains actuels ont parfois également des motivations fonctionnelles, ou purement esthétiques, pour raser la mangrove de leur façade : l'extension de leur propriété, l'accès libre à l'eau, ou le besoin d'« aérer » leur vue sur le cours d'eau. Considérées comme favorisant la prolifération des moustiques et la présence de reptiles (serpents et varans) dans les habitations, les mangroves du Grand Libreville sont détruites pour assainir le cadre de vie familial.
- 41 Parmi les initiatives privées incluses dans l'extension du bâti, les implantations hôtelières ou touristiques, quoiqu'assez rares dans l'ensemble, ont parfois fortement empiété sur la mangrove. L'observation a été faite à Okala-Angondjé, où quelques complexes ont été recensés dans la zone d'étude (Figure 10, en annexe), mais sont aussi présents hors de la zone d'investigation. La présence de quartiers de pêcheurs, comptant pour 23,3% de la déforestation de la mangrove, est particulièrement importante dans les mangroves de la rivière Lowé, contribuant au recul des mangroves. En particulier, l'installation du quartier de pêcheurs nigériens est intervenue dans les décennies précédant 2007 et occupe une superficie d'environ 20 hectares, initialement des mangroves ; la zone du quartier des pêcheurs Béninois a quant à elle provoqué la coupe d'une surface d'environ 6,5 hectares (Figure 9, en annexe). Autour des quartiers

de pêcheurs, la déforestation continue : de grandes surfaces de mangrove ont été coupées à l'ouest du quartier des pêcheurs nigériens et autour du quartier de pêcheurs Béninois. Les pêcheurs coupent les mangroves pour ériger leurs habitations sur pilotis, mais également pour des besoins de fumage de poissons. Les difficultés de conservation contraignent les communautés de pêcheurs à fumer leurs captures. Aussi, certaines catégories de poissons comme le maquereau, la sardine et la petite crevette d'estuaire se commercialisent-elles fumées, pour répondre aux besoins des consommateurs des marchés du Grand Libreville.

- 42 La production de déchets ménagers et industriels a laissé une empreinte sur la mangrove en provoquant son recul, représentant 1,1% de la déforestation des mangroves. En effet, la création et l'expansion des décharges d'ordures de Mindoubé (Lowé) et d'Alénakiri (Igoumié) ont affecté les mangroves (Figure 11). Afin de recevoir régulièrement les ordures du Grand Libreville, les engins dégagent toutes les forêts situées en périphérie de ces décharges. Et dans les deux cas, les forêts de mangroves, situées à proximité, ont payé un lourd tribut. Ouverte en 1974, la plus grande décharge du Libreville, localisée à Mindoubé, s'est étendue au fil des années et déborde désormais sur les anciens secteurs de mangrove en amont de la rivière Lowé. La décharge d'Alénakiri a vu le jour récemment après 2007 et a occasionné la déforestation de la mangrove. Un layon (Figure 11 D) a été créé, en poussant les déchets de plus en plus vers la rivière.

Figure 11. Progression des décharges de Mindoubé (A et B) et d'Alénakiri (C et D), entre 2007 et 2020 / Progress of Mindoubé (A and B) and Alénakiri (C and D) landfills between 2007 and 2020



Le tracé vert correspond aux contours de la mangrove, alors que celui en rouge représente les limites de la décharge. Sur l'image D, une tache noire, qui progresse d'année en année, est remarquable. Il est supposé que la décharge, qui accueille aussi le déversement des eaux de fosses septiques, impacte également la mangrove. A plus ou moins long terme, cette pollution pourrait causer une déforestation en tuant les arbres près des déversements.

GE/Maxar Technologies, 12/06/2007, 25/12/2019 et 13/12/2020.

- 43 L'industrialisation est un moteur important de déforestation des mangroves, représentant 14,4% des déforestations totales, et est localisée dans les sites Lowé et Igoumié. En effet, à l'embouchure de la Lowé, autour du pont Nomba, ainsi qu'à

l'embouchure de la rivière Igoumié, les mangroves disparaissent depuis plusieurs années laissant place à des zones industrielles et portuaires (Figure 12). D'autres activités industrielles impactent la mangrove. En effet, l'industrie du bois a été longtemps dépendante de la proximité des cours d'eau, pour des raisons d'évacuation aisée et à moindre coût des grumes (bois de forêt de terre ferme, bois de mangrove). Ainsi, l'implantation du port à bois (zone industrielle d'Owendo, Igoumié), de l'entrepôt de l'exploitant Rougier (quartier Ngindabato, Igoumié) et de quelques scieries (quartier Mindoubé, Lowé) ont causé une déforestation importante des mangroves (Figure 13).

Figure 12. Régression de la mangrove liée à l'extension des installations industrielles et portuaires, entre 2007 et 2020, à Alénakiri, secteur Igoumié / Mangrove regression related to the extension of industrial and port facilities, between 2007 and 2020, in Alénakiri, Igoumié sector



GE/Maxar Technologies, 12/06/2007 et 13/12/2020.

Figure 13. Ancien Port à bois (A) en fonction en 2003 à Owendo, les industriels du bois Rougier (B) et *Precious Woods* à Owendo (C), et de petites scieries à Mindoubé (Libreville) (D) / Former timber port (A) in operation in 2003 in Owendo, the timber industrialists Rougier (B) and *Precious Woods* in Owendo (C), and small sawmills in Mindoubé (Libreville) (D)



L'image A montre le Port à bois en 2007 et désormais reconverti. Son installation a été faite à l'embouchure de la rivière Igoumié, où une poche de mangrove est encore visible en vert foncé au nord-est. L'industriel Rougier, implanté le long de la rivière Igoumié et visible sur l'image B, n'a pas construit son bâtiment dans les anciennes mangroves. Toutefois, l'accès à la rivière a été aménagé dans celles-ci. L'industriel *Precious Woods* (C) s'est, quant à lui, complètement installé dans les anciennes mangroves de la rive gauche de la rivière Lowé. Le bâtiment et le parc à bois sont particulièrement étendus. L'image D illustre l'impact de scieries locales (2 taches orangées provoquées par l'accumulation des copeaux de bois) ; certes, elles sont moins consommatrices de surface que les industriels.

Image GE/Maxar Technologies du 17/05/2003, 13/12/2020 et 05/03/2019.

- 44 À Alénakiri, l'industrie énergétique a laissé une empreinte extensive dans la mangrove, avec l'installation d'un puits à gaz et un réseau de gazoducs. Sous forme de layons au centre et au sud-est de la zone d'Igoumié, ce réseau traverse les mangroves des deux rives de la rivière Igoumié (Figure 14). L'extension du réseau d'eau a aussi imprimé sa marque dans la mangrove de la zone d'Okala-Angondjé.

Figure 14. Puit à gaz et réseau gazoduc dans la mangrove d'Igoumié (A) et extension du réseau de distribution d'eau à Okala-Angondjé (B) / Gas well and gas pipeline network in the Igoumié mangrove (A) and extension of the water distribution network in Okala-Angondjé (B)



Image GE/Maxar Technologies du 13/12/2020 et 08/01/2021.

- 45 Bien qu'étant de plus faible ampleur que les précédentes, d'autres activités économiques observées dans les zones de prospection ont provoqué quelques déforestations de mangrove : l'agriculture, l'élevage et l'aquaculture. Pour l'instant, la croissance des surfaces agricoles dans certaines zones a peu d'impact visible sur les mangroves et ne compte, dans l'ensemble, que pour 2,6% des déforestations. Seules quelques déforestations très localisées ont été observées dans le secteur de Mikolongo (Okala-Angondjé), et semblent perceptibles aussi dans le Nord-Est d'Igoumié (Figure 15). Seuls deux élevages porcins, ayant occasionné quelques coupes de mangrove, ont été observés dans les mangroves de Lowé et d'Igoumié.

Figure 15. Les domaines agricoles à Mikolongo (A) et à Igoumié (B) / Agricultural domains in Mikolongo (A) and Igoumié (B)



Image GE/Maxar Technologies du 23/11/2019 et 13/12/2020.

- 46 Les parcs d'aquaculture dédiés à l'élevage du poisson ont un impact spatial similaire, soit 2,5% pour les trois sites. Les structures ont nécessité un aménagement d'environ 6000 m² de bassins d'élevage à Okala-Angondjé, et 17 000 m² à Igoumié (Figure 16).

Figure 16. L'aquaculture à Okala-Angondjé (A) et à Igoumié (B) / Aquaculture in Okala-Angondjé (A) and Igoumié (B)

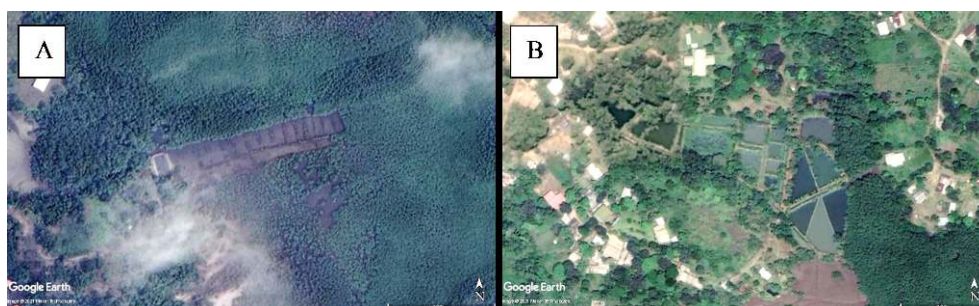


Image GE/Maxar Technologies du 25/12/2019 et 08/01/2021.

Discussion

- 47 La discussion portera sur trois aspects : *primo*, les difficultés des mesures des dynamiques d'occupation du sol, *secundo*, la relativisation de la déforestation des mangroves et, *tertio*, les causes de déforestation.

Difficultés des mesures des dynamiques d'occupation du sol

- 48 La classification de l'occupation du sol, qu'elle soit automatisée ou non, présente parfois des erreurs plus ou moins maîtrisées. Ainsi, la précision globale des différentes cartes d'occupation du sol 2020 est de 0,84 pour le site d'Okala-Angondjé, 0,92 pour Lowé et 0,90 pour Igoumié (Tableau 6). Dans les trois cas, la précision de la classe mangrove est de 0,90 ou plus. Malgré les erreurs d'omission ou de commission, la mangrove, classe centrale de notre étude, reste suffisamment précise pour apprécier les dynamiques, lorsque comparée aux années antérieures. Les confusions de classification sont intervenues notamment entre l'eau et le sol nu. En effet, dans certains sites, l'orthophoto montre un sol nu en marge des mangroves (espace vaseux découvert) qui, à notre passage sur le terrain, se sont révélées couvertes d'eau à marée haute.

Tableau 6. Synthèse des matrices de confusion relatives aux cartes d'occupation du sol 2020 du Grand Libreville / Summary of confusion matrices for the 2020 land use maps of Greater Libreville

	Okala Angondjé			Lowé			Igoumié		
Classe	Om.	Com.	Préc. de la classe	Om.	Com.	Préc. de la classe	Om.	Com.	Préc. de la classe
Bâti	0,08	0,02	0,90	0,02	0,01	0,98	0,00	0,14	0,88
Eau	1,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,97	0,03	0,00	0,96
Forêt TF	0,38	0,00	0,62	0,00	0,00	1,00	0,17	0,00	0,83
Mangrove	0,01	0,04	0,94	0,10	0,00	0,90	0,08	0,00	0,92
Plantations, cultures	0,24	0,00	0,76	0,01	0,14	0,87	0,00	0,00	1,00
Sol nu	0,01	0,71	0,58	0,13	0,48	0,58	0,52	0,01	0,48
Végétation HA	0,23	0,92	0,40	0,37	0,16	0,54	0,41	1,51	0,23
Décharge	na	na	na	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00
Précision globale de la classification	0,84			0,92			0,90		

Om : Omissions ; Com : Commissions ; Préc. : Précision

LAGRAC, 2022; élaboré à partir des classifications d'occupation du sol (d'après les données Maxar Technologies) et des données de validation terrain.

- 49 Généralement, les forêts de mangrove ne peuvent pas se confondre avec les forêts de terre ferme ou marécageuses, car elles n'abritent au plus que 6 espèces d'arbres (au Gabon) souvent en groupe mono-spécifique et de hauteurs similaires. En effet, les matrices ne montrent aucune confusion entre ces types de forêt. Elles ont des caractéristiques physiques parfois très évidentes (3 espèces aux racines échasses). Elles sont généralement encadrées d'un talus qui démarque les espaces atteints par l'eau

salée situés en contrebas, et la terre ferme située en contrehaut. La texture et les couleurs des zones de mangroves sont beaucoup plus uniformes qu'une forêt de terre ferme ou marécageuse, potentiellement habitée de plusieurs dizaines d'espèces d'arbres aux hauteurs, formes et couleurs très différentes. Seule la forêt marécageuse pourrait être assimilée à la forêt de terre ferme et n'a été identifiée formellement que dans la zone de Lowe puisqu'un plan d'eau apparaissait entre les arbres.

- 50 Le décalage entre la prise de l'image et la collecte de données de validation, qui atteint 24 mois dans certaines zones, explique une partie des confusions rencontrées entre le sol nu et la végétation herbacée et arbustive, puis cette dernière avec la forêt de terre ferme. Le sol qui pouvait apparaître nu en 2019 apparaît désormais couvert de végétation herbacée ou arbustive, tout comme l'espace couvert par les arbustes peut avoir évolué en jeune forêt lors de notre passage en 2020 ou 2021.
- 51 Les classes retenues ici ont servi aux besoins de démonstration de la déforestation des mangroves urbaines. Mais, dans d'autres cas, elles pourront varier en qualité et en nombre. Une précédente étude réalisée au nord de Libreville, dans la forêt de la baie de la Mondah et englobant notre site d'Angondjé, a aussi établi 9 classes d'occupation du sol (Ndotit Manguingha et al., 2019). Dans cette étude, la savane est l'une des classes retenues, et correspond à la végétation herbacée et arbustive. Dans les deux études, cette végétation est d'origine anthropique et résulte de la déforestation. La forêt primaire littorale, qui occupait ces sites, a été remplacée par les plantes herbacées et les arbustes. L'auteur précise que quoique présentes dans la zone d'étude, les espèces introduites par l'homme, comme le manguier (*Mangifera indica*), le badamier (*Terminalia catappa*), le palmier (*Elaeis guineensis*) ou le cocotier (*Cocos nucifera*), n'ont pas été comptabilisées dans la classe savane.
- 52 De façon générale, l'analyse et l'interprétation des données satellitaires optiques restent soumises à la qualité de l'image et, plus précisément, à la nébulosité de la zone. La présence de nuages dans la zone équatoriale masque l'information au sol. Ainsi, la disponibilité d'une image sans couverture nuageuse est rare et il faut régulièrement composer avec cette limitation qui peut influencer les résultats. Ainsi, nous avons opté pour une mosaïque d'orthophotos qui a pour avantage d'éliminer les nuages présents sur la zone étude. Ceci évite aussi de produire des résultats parfois significativement faussés, comme dans l'étude dans la forêt de la baie de la Mondah (Ndotit Manguingha et al., 2019), dans laquelle l'auteur a révélé que la classe mangrove a « connu une progression », entre 1990 et 2009, de l'ordre de 6285,69 hectares, soit 330,83 hectares par an. La surévaluation de la progression provient de la sous-évaluation de la superficie des mangroves de 1990, elle-même causée par la présence consécutive de nuages sur la surface de mangrove présumée.

Relativisation de la déforestation des mangroves

- 53 Les taux de déforestation annuelle des mangroves mondiales étaient estimés à -1,04% par an entre 1980 et 1990, à -0,72% par an entre 1990 et 2000 et à -0,66% par an entre 2000 et 2005 (FAO, 2007b). Ce taux a diminué à 0,11% par an entre 2010 et 2016 (Global Mangrove Alliance, 2021). Dans certains cas, le déclin des mangroves est ancien. Par exemple, aux Philippines, d'environ 500 000 hectares en 1918, elles sont passées à 120 500 hectares en 1994 (Primavera, 2004). La superficie des pertes de mangroves varie d'une région ou d'un pays à l'autre. En Indonésie, qui abrite la plus grande surface de

mangroves au monde, le taux de perte est estimé à plus de 90% dans certaines provinces comme Java et Sumatra (Bengen et Dutton, 2003 ; Mitra, 2013). Entre 1990 et 2000, les mangroves du Brésil ont perdu approximativement 3650 km² des 13 800 km² initiaux (Mitra, 2013), soit un taux annuel de -2,64%. Ces écosystèmes ont été détruits à un rythme de 17,7% en 10 ans (2000-2010) en Afrique Centrale (Ajonina et al., 2014). Dans la province de l'Estuaire au Gabon, la variation de la superficie des mangroves a été évaluée à -53,97 km² (-5,13%, soit -0,37% par an) entre 2000-2014, et +53,6 km² entre 2014-2017 (+5,61%, soit 1,87% par an) ; donnant, sur l'ensemble de la période 2000-2017, une superficie relativement stable (Okanga-Guay et al., 2019). Cependant, cette stabilité cache des modifications importantes au niveau local. L'ensemble des régressions de mangrove pour la province totalise 86,01 km² entre 2000 et 2014 (Okanga-Guay et al., 2019), soit un taux annuel de -0,6%. Dans la périphérie nord de Libreville, Ndotit Manguingha et al. (2019) a plutôt évalué la progression des mangroves de la Mondah, entre 2000 et 2009, à 10 hectares, soit 2,5% (ou 0,28% par an), alors que, dans le cas des mangroves urbaines d'Okala-Angondjé, Lowé et Igoumié, les pertes entre 2007 et 2020 sont mesurées à 10,1% de leur surface, soit un taux global de déforestation de 0,8% par an. Finalement, depuis 2002, les mangroves protégées du Parc National Akanda et de l'Arboretum Raponda Walker au Nord, et du Parc National Pongara au Sud, représentant environ 68% des mangroves de la province, enregistrent plutôt des progressions, comme le démontrent Ndotit Manguingha et al. (2019), contrairement aux mangroves urbaines, hors parcs, qui régressent.

Moteurs de déforestation

- 54 Des forces multiples peuvent causer des pertes globales de mangroves, pour lesquelles la nature et les dynamiques peuvent varier dramatiquement selon les contextes régionaux et locaux (Chowdhury et al., 2017). Les moteurs de déforestation se classent en deux types : directs et indirects. Généralement, à l'échelle mondiale, la déforestation des mangroves provient d'une combinaison des facteurs directs et indirects : 62% des cas sont multi-sources, contre 37% de source directe unique (Chowdhury et al., 2017). Donc, dans plusieurs situations, ces moteurs peuvent s'accumuler. La multiplicité des moteurs en œuvre s'illustre bien par le cas des mangroves du Brésil : en effet, ils sont attribués à l'agriculture, au développement urbain, aux pollutions par hydrocarbures et autres substances (Mitra, 2013). L'expansion des activités de subsistance (agriculture et récolte du bois de chauffage) est le moteur le plus communément cité de la déforestation dans le Bassin du Congo. Il est soutenu par les tendances démographiques et l'urbanisation accélérée, qui constituent les plus importantes causes sous-jacentes de la déforestation actuelle (Megevand C. et al., 2013).
- 55 Au niveau international, les moteurs directs sont principalement attribués au développement infrastructurel, aux conversions d'utilisation du sol vers des activités agricoles ou d'aquaculture, et à l'extraction du bois (Chowdhury et al., 2017). Dans les 21 pays étudiés par Mitra (2013), le développement urbain est une cause quasi unanime de déforestation des mangroves, mais à des degrés divers, tout comme l'agriculture. En Afrique centrale, les moteurs directs de pertes de mangroves les plus importantes sont la surexploitation des produits ligneux et non-ligneux, la conversion de surfaces de mangrove en zones urbaines et en infrastructures, la dégradation due à la pollution et à l'agro-industrie, particulièrement au Cameroun (Ajonina et al., 2014). Dans le cas des mangroves urbaines du Grand Libreville, l'étude a démontré que la majorité des

régressions est d'origine anthropique, l'homme étant donc la cause directe de la déforestation. Les autres moteurs de déforestation sont d'origine inconnue ou non-anthropique, ce qui représente 43% des cas à Okala-Angondjé, 4% à Lowé et 22% à Igoumié.

- 56 L'urbanisation et l'expansion villageoise sont citées en tant qu'agents de déforestation, tout comme la construction de routes, de ports, de barrages ou de digues (Chowdhury et al., 2017). En effet, les principales menaces de la mangrove dans l'Océan Indien sont le développement urbain et des colonies (Mitra, 2013). Au Nigéria, le développement des infrastructures, dont la construction de routes, est l'une des causes majeures de déforestation dans le delta du Niger (Chima et Larinde, 2016). La remise en état des terres pour la construction de colonies et d'installations publiques est également une autre menace pour l'écosystème de mangrove dans cette région (Chima et Larinde, 2016). La dérivation des cours d'eau et la construction de barrage ne sont pas très courantes ; mais, leurs effets sont presque toujours sévères, tels qu'au Bangladesh, en Colombie, au Sénégal ou au Vietnam (Mitra, 2013). La réorientation des cours d'eau peut entraîner d'autres conséquences telles qu'une hypersalinité, une carence en apport sédimentaire et en eau douce, affectant par exemple les mangroves des deltas du Pakistan et de l'Inde (Hogarth, 2007 ; Mitra, 2013).
- 57 La pression sur les mangroves urbaines du Grand Libreville, quoique grandissante avec la croissance démographique, et la densification et l'extension urbaine qu'elle entraîne, ne sont pas encore extrêmes, comme ce qui est connu en Asie. Toutefois, parmi tous les moteurs identifiés dans la région du Grand Libreville, ceux liés au développement urbain et industriel sont nécessairement les plus importants et sous-tendus par la pression démographique, vu le milieu. Ainsi, les activités économiques et la construction résidentielle contribuent largement aux pertes de mangrove. Mais les industries énergétiques et du bois, les infrastructures portuaires, dans ce cas-ci, ont consommé aussi de vastes pans de mangrove dans Grand Libreville (Figures 6 et 11A et B).
- 58 L'augmentation de la densité de la population et les objectifs de développement durable fixés par les autorités pour l'émergence du Gabon en 2025 (Tchatchou et al., 2015), et le développement des infrastructures et de l'industrie (notamment, dans la filière transformation du bois) auront un impact certain sur le couvert forestier en général, et sur les écosystèmes de mangroves en particulier. En effet, la décision prise par le Gouvernement gabonais d'interdire les exportations de grumes en 2010 (Kombila-Mouloungui, 2019) a comme corollaire l'augmentation du nombre des unités de transformation de bois (Kombila-Mouloungui, 2019). Cette situation est observée dans la zone de mangrove le long de la rivière Lowé, où les unités scieries artisanales se multiplient.
- 59 Particulièrement importantes en Asie, l'agriculture et l'aquaculture sont largement citées dans la littérature, comme causes de conversion de la mangrove. En effet, la transformation de la mangrove en champs de riziculture et en pâturages est fréquente. Au Kenya, dans le delta de Tana, de nombreuses forêts de mangrove ont été abattues pour le développement de plantations de riz. Le projet de plantations de riz a été arrêté après la catastrophe d'El Niño en 1998, dont la gravité a été largement attribuée au changement climatique (Murithi Riungu, 2010). La conversion vers l'aquaculture est devenue banale en Asie et en Amérique latine, surtout au Brésil ou en Équateur (Mitra, 2013; Chowdhury et al., 2017). Quoiqu'elle ait été d'abord attribuée à la surexploitation

par la population, l'implantation de villages, l'agriculture, les salines ou l'industrie aux Philippines, la déforestation de mangroves est désormais causée par l'aquaculture qui représente environ la moitié des pertes entre 1951 et 1988 (Primavera, 2004). Selon Mitra (2013), entre 1990 et 2000, l'aquaculture est un moteur particulièrement extrême en Équateur, aux Philippines, au Vietnam, en Indonésie et, dans une moindre mesure (qualifiée de sévère), à Madagascar ou au Myanmar. 'Un très bon exemple est vu à Buguma, dans l'État de Rivers, situé dans la région du delta du Niger au Nigéria, où une société est impliquée à grande échelle dans l'aquaculture. Celle-ci a conduit à la destruction et au remplissage de sable d'une grande étendue de la forêt de mangrove (Chima et Larinde, 2016). L'aquaculture n'est pas une pratique très répandue, même si elle est présente dans les trois sites, elle n'occupe généralement que de petites surfaces, les plus importantes étant situées à Angondjé et en amont de l'Igoumié. L'agriculture y a été observée ; en lieu et place des pieds de mangroves, des cultures de manioc, banane, canne à sucre et des cultures maraichères.

- 60 L'industrie des copeaux et de la pulpe et l'utilisation domestique du bois sont aussi mentionnées comme des menaces de la mangrove (Mitra, 2013). En Afrique, la mangrove est utilisée principalement pour l'extraction de bois à des fins de cuisson et de fumage de poissons (Chowdhury et al., 2017). Dans le cadre gabonais, l'État interdit toute extraction de bois de mangrove pour le fumage du poisson. Étant donc prohibée, et bien que se faisant parfois de manière clandestine ou localisée, ladite extraction est très peu répandue et n'est pas une cause importante de déforestation dans les mangroves urbaines du Grand Libreville. Cependant, dans l'optique de gagner les terrains, le bois coupé, s'il n'est pas brûlé sur place, peut aussi servir à la production, très limitée en zone urbaine, de charbon. Un seul cas comme tel a été recensé à Alénakiri (Igoumié), près du débarcadère de pêche où de petites structures de fumage de poissons et crevettes étaient installées.
- 61 La pollution par les hydrocarbures et autres substances peut aussi détruire la mangrove, comme cela est mentionné au Brésil (Mitra, 2013). Une toxicité trop importante affecte les zones de mangroves qui disparaissent et impacte le sol en affectant le rendement des cultures, les récoltes, la migration des poissons et les organismes vivants dans ces milieux, comme dans le delta du Niger au Nigéria (Amarachi et Kabari, 2020). La pollution présente dans les mangroves du Grand Libreville provient principalement des décharges de Mindoubé et Alénakiri.
- 62 Quoique non-étudiées ici, il faut mentionner qu'en plus des moteurs directs de déforestation des mangroves, il existe d'autres, d'origines anthropiques sous-jacentes : les causes démographiques, économiques, institutionnelles, technologiques et culturelles. Dans le recensement des études de cas concernant les moteurs de déforestation de mangrove, Chowdhury et al. (2017) ont identifié que les moteurs sont majoritairement économiques (79%) et politiques ou institutionnels (77%). Les changements démographiques, tels que l'augmentation de la densité démographique, l'implantation de communautés immigrantes qui causent aussi des pollutions diverses, ne peuvent qu'intensifier les pressions sur les mangroves. C'est le cas notamment dans la localité de Bonaloka, au nord de Douala, où de vastes superficies sont détruites au profit de l'installation du surplus de la population urbaine (MINEP, 2010). Similairement, les populations immigrantes pratiquant la pêche, nigérianes ou béninoises dans le cadre de Libreville, a provoqué des installations de villages dans les mangroves. Dans d'autres contrées, les aspects culturels (préférence du bois de

mangrove pour le fumage et la cuisson des aliments) peuvent également jouer un rôle important. Au Gabon, certaines communautés attribuent une valeur culturelle très forte aux mangroves, mais elles n'ont pas été recensées dans les sites à l'étude.

- 63 Parmi les moteurs gouvernementaux/institutionnels, les politiques qui favorisent la déforestation (encouragement de l'aquaculture et des projets de développement) et l'insécurité foncière (menaces sur l'usufruit communautaire des mangroves face à des promoteurs de grands projets) existent, par exemple aux Philippines (Primavera, 2004 ; Hogarth, 2007). Si dans les parcs nationaux les mangroves bénéficient d'un statut de protection, les populations vivant dans et en périphérie participent aux politiques de conservation mises en place par les autorités publiques (Ndotit Manguiengha et al., 2019). Toutefois, en milieu urbain, l'incivisme lié à la transformation des zones de mangroves en dépotoirs, le non-respect des textes de loi relatifs à l'interdiction de construire dans les zones humides et l'ignorance des progrès scientifiques sur les services et rôles écosystémiques multiples des mangroves sont encore remarquables et grandissants. Cela traduit également la faiblesse des politiques en lien avec la gestion foncière dans le Grand Libreville : l'inaction des autorités publiques encourage les populations à s'installer dans les mangroves où l'accès devrait être réglementé (Rogombé et al., 2020 ; Okanga-Guay et al., 2021a et 2021b). En matière de propriété foncière au Cameroun et de protection des mangroves au Gabon, le flou juridique a favorisé l'occupation des écosystèmes mangroves par une couche de la population en manque de terre pour bâtir leur logement. Dans la ville de Douala, motivés par l'acquisition de terrain à moindre coût, et cherchant à résoudre les problèmes causés par la pauvreté, les « débrouillards » investissent donc un milieu aux caractéristiques physiques redoutables pour l'habitat humain (Safougne Djomekui et al., 2020). C'est le cas dans les mangroves urbaines du Grand Libreville, où le faible coût des parcelles dans les zones *non aedificandi* pousse les populations à s'y installer; alors que ces terrains non constructibles ne répondent pas aux critères techniques et juridiques.
- 64 Malgré la protection d'une partie des mangroves gabonaises incluses dans les Parcs Nationaux, et outre les conventions régionales ou internationales dont le Gabon est signataire, telles que la Convention de Ramsar relative aux zones humides d'importance internationale (1971), le Protocole additionnel à la Convention d'Abidjan (1982) ou la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (Rio de Janeiro, 1992) par exemple, le Gabon ne possède pas de réglementation explicite sur la protection des mangroves. Nonobstant l'existence d'un code forestier et d'un code de l'environnement, seul l'Arrêté n° 035 du 6 octobre 2020, portant sur la révision de la liste des projets obligatoirement soumis à Étude d'Impact sur l'Environnement, mentionne explicitement les mangroves, en exigeant désormais que les « activités de quelque nature que ce soit réalisées à l'intérieur d'une mangrove » sont soumises « à l'obligation de réalisation préalable d'une Étude d'Impact sur l'Environnement » (Art.3). Pourtant, les lois sur le Domaine de l'État et le Domaine Public Maritime (DPM) protègent implicitement les mangroves au Gabon, et ce depuis 1963. En effet, le Domaine Public Maritime, défini dans le Code de la Marine Marchande Gabonaise de 1963, comprend le rivage de la mer. Celui-ci s'étend « à terre jusqu'aux points atteints par les plus hautes eaux » (aussi mentionné dans l'Art.13 Règlement numéro 08/12-UEAC-088-CM-23, portant adoption du Code Communautaire de la Marine Marchande de l'Union des États d'Afrique centrale en 2012, et la Loi 4/2013 du 14 août 2013 de la République Gabonaise). Désignées comme des « milieux inféodés à la zone de balancement des marées et composés d'espèces végétales morphologiquement et

physiologiquement adaptées » (UICN, 2017), les mangroves sont, par définition, incluses dans l'espace délimité par les plus hautes eaux. En plus de la réglementation concernant le Domaine Public Maritime, dans la Loi numéro 14/63 du 8 mai 1963 fixant le Domaine de l'État, l'article 104 indique que « La réserve domaniale dite « des 100 mètres » est constituée par une bande de terrain d'une largeur de 100 mètres comptée à partir de la limite des plus hautes marées ». Vu l'importance que représentent les mangroves dans la lutte contre les changements climatiques, le Ministère en charge de l'Environnement poursuit sa réflexion pour une meilleure protection de toutes les mangroves gabonaises.

Conclusion

- 65 Entre 2007 et 2020, les mangroves urbaines de la région du Grand Libreville, des sites d'Okala-Angondjé, de Lowé et d'Igoumié, ont perdu plus 119 hectares, soit plus de 10 % des surfaces étudiées. Durant cette période, la progression du front urbain a eu pour effet d'augmenter la pression sur les mangroves. Ces axes de pressions urbaines se dirigent majoritairement d'ouest en est dans les cas des zones d'Okala-Angondjé et d'Igoumié, mais proviennent de toutes parts dans le cas de la rivière Lowé. En effet, plus le bâti s'approche des lisières des mangroves, plus celles-ci subissent une déforestation. Malgré la vitalité des mangroves, qui continuent à progresser (84 hectares) dans certains secteurs, les reculs ont atteint 203 hectares.
- 66 À la suite des observations de terrain, plusieurs moteurs de déforestation ont été recensés dans les mangroves urbaines du Grand Libreville. Ils sont majoritairement d'origine anthropique (57% à Okala-Angondjé, 96% à la rivière Lowé et 78% dans la zone d'Igoumié). La première cause de déforestation est l'extension des propriétés, qui se manifeste par la multiplication des zones de sols nus (coupes et remblais) et la construction sur remblais ou adaptée (sur pilotis). Des motifs esthétiques ou fonctionnels (vue et accès à l'eau) ont aussi été enregistrés. Les motifs économiques sont nombreux : implantations hôtelières ou touristiques, industrielles et portuaires, extension des réseaux de distribution (pipelines et eau potable). De façon plus marginale, l'agriculture, l'élevage et l'aquaculture sont des activités ayant impacté les mangroves. Les mangroves ont aussi subi les assauts de la pollution, en particulier des décharges de Mindoubé et d'Alénakiri.
- 67 À l'échelle nationale ou internationale, la régression des mangroves dans le Grand Libreville est de 0,8% par année et est très visible localement. En effet, les conséquences de la destruction des mangroves sont multiples : menace sur la biodiversité végétale et animale, augmentation de la vulnérabilité du littoral face à l'érosion côtière, perte de nutriments et déclin des ressources halieutiques. De façon générale, les mangroves détruites ne peuvent plus jouer leur rôle protecteur face aux effets du changement climatique, en tant que puits de carbone ou barrière contre les tempêtes. Il y a donc nécessité impérieuse de s'assurer de l'intégrité des mangroves restantes par des mécanismes de contrôle efficaces et l'adaptation des politiques foncières.

L'équipe du LAGRAC remercie la Direction Générale des Écosystèmes Aquatiques du Ministère des Eaux, des Forêts, de la Mer, de l'Environnement, Chargé du Plan Climat, et du Plan d'Affectation des Terres (Gabon), le projet OSFACO de l'Institut de Recherche pour le Développement (France) et de l'IGN-FI, ainsi que l'Agence Universitaire de la Francophonie pour leur soutien financier. Elle remercie les Docteurs Nadine Nicole Ndonghan Iyangui, Dieu-Donné

Mouketou-Tarazewicz, Michel Mbadinga et Chancia Nyinguema pour leur participation au projet mangrove, ainsi que les étudiants Christ Olsen Nkouanzi Mabika, Elyard Glen Mbaya Diwa, Guy Cardel Mba Ekore, Melvin Megne M'Ndong, Robert Obiang Zogo, Geneviève Matiale Ngalakén Tienga, Jordan Stephan Pounah, Guevane Gérald Youba, Dominique Biloghe Ella, Leika Stevens Mombo, Désiré Tsamba, Médard Mamouaka Bayadi, Ludmilla Ogandaga Rebellah, Charles Tede Wadoud Florentin Nguema, Ynous Djida, Carmelia Lekogo Hamadou, Jeanine Ornella Eyang Edou du Département des Sciences Géographiques, Environnementales et Marines de la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines de l'Université Omar Bongo de Libreville (Gabon) pour avoir participé à la collecte des données.

BIBLIOGRAPHIE

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

Agence Gabonaise des Études et Observations Spatiales (AGEOS), 2020, *Occupation du sol du Gabon en 2015*, Poster, Gabon.

Ajonina, G., J. G. Kairo, G. Grimsditch, T. Sembres, G. Chuyong, D. E. Mibog, A. Nyambane et C. FitzGerald, 2014, *Carbon pools and multiple benefits of mangroves in Central Africa: Assessment for REDD+*, UNEP, 72 p.

Ajonina, G., F. A. Aya, A. Diame, A. K. Armah, S. Camara, C. Amengankpoe, N. Zabbey et P. Kaya, 2016, Overview of experience of mangrove reforestation in West and Central Africa, *Proceedings of the 38th Annual conference of Forestry Association of Nigeria (FAN)*, 7th – 11th march 2016, Nigeria, pp. 12-21.

Alongi, D. M., 2002, Present state and future of the world's mangrove forests, *Environmental conservation*, 29, 3, pp. 331-349.

Alongi, D. M., 2008, Mangrove forests: Resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 76, 13 p.

Amarachi, P. O. et S. Kabari, 2020, A review of the threat of oil exploitation to mangrove ecosystem: Insights from Niger Delta, Nigeria, *Global Ecology and Conservation*, 22, 12 p.

Bengen, D. G. et I. M. Dutton, 2003, Interactions between mangroves and fisheries in Indonesia, dans: Northcote TG, Hartman GF (eds) *Fishes and forestry – worldwide watershed interactions and management*, Blackwell Scientific, Oxford, pp. 632-653.

Bouillon, S., 2011, Storage beneath mangroves, *Nature Geoscience*, 4, May, 3 p.

Chima, U. D. et S. L. Larinde, 2016, Deforestation and degradation of mangroves in the Niger Delta Region of Nigeria: Implications in a changing climate, *Proceedings of the 38th Annual conference of Forestry Association of Nigeria (FAN)*, 7th – 11th march 2016, Nigeria, pp. 520-537.

Chowdhury, R. R., E. Uchida, L. Chen, V. Osorio et L. Yoder, 2017, Chapter 9: Anthropogenic Drivers of Mangrove Loss: Geographic Patterns and Implications for Livelihoods, *Mangrove*

- Ecosystems: A Global Biogeographic Perspective: Structure, Function, and Services* (Rivera-Monroy V., Lee S.Y., Kristensen E. and Twilley R.R eds), Springer, pp. 275-300.
- Congalton, R. G. et Green, K., 2009, Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices, Second Edition, CRC press, 183 p.
- Donato, D. C., J. B. Kauffman, D. Murdiyarso, S. Kurnianto, M. Stidham et M. Kanninen, 2011, Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics, *Nature Geoscience*, 4, 5, April, 5 p.
- FAO, 2002, Actes de la seconde rencontre d'experts sur l'harmonisation des définitions forestières à l'usage des différentes parties prenantes, Rome, 11-13 septembre 2002, 84 p.
- FAO, 2007a, Manual on deforestation, degradation and fragmentation using remote sensing and GIS, MAR-SFM Working Paper 5, 49 p.
- FAO, 2007b, *The world's mangroves 19080-2005*, FAO Forestry Papier 153, Rome, 77 p.
- Field, C., J. Osborn, L. Hoffman, J. Polsenberg, D. Ackerly, J. Berry et H. Mooney, 1998, Mangrove biodiversity and ecosystem function, *Global Ecology & Biogeography Letters*, 7, 1, pp. 3-14.
- Geist, H. J. et E. F. Lambin, 2002, Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation, *BioScience*, 52, 2, pp. 143-150.
- Ghazali, N., K. Zainuddin, M. Z. Zainal, H. M. Dali, A. M. Samad et M. R. Mahmud, 2016, The potential of mangrove forest as a bioshield in Malaysia, *2016 IEEE 12th International Colloquium on Signal Processing & Its Applications (CSPA)*, IEEE, pp. 322-327.
- Giri, C., E. Ochieng, L. L. Tieszen, Z. Zhu, A. Singh, T. Loveland, J. Masek et N. Duke, 2011, Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data, *Global Ecology and Biogeography*, 20, pp. 154-159.
- Global Mangrove Alliance, 2021, The State of the World's Mangroves report, 79 p.
- Hogarth, P. J., 2007, *The Biology of Mangroves and Segrasses*, Oxford University Press, 273 p.
- Hosonuma, N., M. Herold, V. De Sy, R. S. De Fries, M. Brockhaus, L. Verchot, A. Angelsen et E. Romijn, 2012, An assessment of deforestation and forest degradation drivers in developing countries, *Environmental Research Letters*, 7, 12 p.
- Howard, J., S. Hoyt, K. Isensee, M. Telszewski et E. Pidgeon (éditeurs), 2014, *Coastal Bleu Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marches and seagrasses*, Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International union for Conservation of Nature, Arlington, Virginia, USA, 180 p.
- Kauffman, J. B. et R. K. Bhomia, 2017, Ecosystem carbon stocks of mangroves across broad environmental gradients in West-Central Africa, *PloS one*, 12, 11, 17 p.
- Kombila-Mouloungui, A. G., 2019, *L'arrêt de l'exportation des grumes au Gabon : enjeux et perspectives*, Thèse de doctorat, Géographie-Aménagement, Université de Pau et des Pays de l'Adour, 447 p.
- Lebigre, J.M., 1983, Les mangroves des rias du littoral gabonais. Essai de cartographie typologique, *Revue Bois et Forêts des Tropiques*, 199, 1er trimestre, pp. 3-28.
- Lovelock, C. E. et D. R. Cahoon, D. A. Friess, G. R. Guntenspergen, K. W. Krauss, R. Reef, et N. Saintilan, 2015, The vulnerability of Indo-Pacific mangrove forests to sea-level rise, *Nature*, 526, 7574, pp. 559-563.
- Manson, F. J., N. R. Loneragan, G. A. Skilleter et S. R. Phinn, 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, pp. 493-524.

- Megevand, C., A. Mosnier, J. Hourticq, K. Sanders, N. Doetinchem et C. Streck, 2013, Dynamique de la déforestation dans le bassin du Congo : Réconcilier la croissance économique et la protection de la forêt, La Banque Mondiale, 201 p.
- MINEP, 2010. Études préliminaires de la deuxième phase du projet de conservation et de gestion participatives des écosystèmes de mangroves au Cameroun, République du Cameroun, Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature (MINEP), Rapport final, 125 p.
- Mitra, A., 2013, Sensitivity of Mangrove Ecosystem to changing Climate, Springer, 338 p.
- Murithi Riungu, G., 2010, Les activités humaines, la menace principale pour la riche forêt de mangrove du Delta du fleuve Tana au Kenya, Bureau Régional de la FAO pour l'Afrique, Nature & Faune, 24, 1, pp. 73-77.
- Nagelkerken, I. S. J. M., S. J. M. Blaber, S. Bouillon, P. Green, M. Haywood, L. G. Kirton et P. J. Somerfield, 2008, The habitat function of mangroves for terrestrial and marine fauna: a review, *Aquatic botany*, 89, 2, pp. 155-185.
- Ndotit Manguengha, S., Ch. Mikolo-Yobo, I. Akpaca, J. A. Worah et M. Nziengui, 2019, Contribution de la télédétection satellite et du SIG à la gestion durable des mangroves anthropisées de la forêt de la Mondah : nord-ouest du Gabon, *International Journal of Engineering Science Invention (IJESI)*, 8, 10, Series II, pp. 21-34.
- Nzigou Boucka, F., C. V. Obame, F. Manfoumbi, A. Nzue Mba, M. Ngui Ondo, V. Ovono et A. Mambimba Ndjoungui, 2021, Cartographie de l'occupation du sol du Gabon en 2015 : Changements intervenus entre 2010 et 2015, *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, 223, pp. 118-128. [En ligne] URL : <https://doi.org/10.52638/rfpt.2021.567>
- Okanga-Guay, M., E. Ondo Assoumou, I. Akendengue Aken, C. Mpie Simba, J. B. Mombo, M. Obiang Ebanega, M. Mbadinga, L. Rogombe et D. Mouketou-Tarazewicz, 2019, Suivi des changements spatiaux et environnementaux dans les mangroves de la province de l'Estuaire du Gabon, *Actes de la Conférence : Des images satellites pour la gestion durable des territoires en Afrique*, Mertens, B. Orekan, V. Eds, Mars, Cotonou, Bénin, pp. 313-339. [En ligne] URL : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02189534>
- Okanga-Guay, M., E. Ondo Assoumou, J.-B. L. Mombo, Rogombé, A. J. Lembé Békale, N.N. Ndonghan Iyangui, D.-D. Mouketou-Tarazewicz, I. Akendengue Aken, M. Mbadinga, C. Nyinguema et C. O. Nkouanzi Mabika, 2021a, *Étude de cas : Les mangroves de la rivière Lowé*. LAGRAC/Université Omar Bongo, Direction Générale des Écosystèmes Aquatiques, Ministère des Eaux, des Forêts, de la Mer, de l'Environnement, Chargé du Plan Climat, et du Plan d'Affectation des Terres, Libreville, 74 p.
- Okanga-Guay, M., E. Ondo Assoumou, J.-B. L. Mombo, Rogombé, A. J. Lembé Békale, N.N. Ndonghan Iyangui, D.-D. Mouketou-Tarazewicz, I. Akendengue Aken, M. Mbadinga, C. Nyinguema et C. O. Nkouanzi Mabika, 2021b, *Étude de cas : Les mangroves de la rivière Igoumié*. LAGRAC/Université Omar Bongo, Direction Générale des Écosystèmes Aquatiques, Ministère des Eaux, des Forêts, de la Mer, de l'Environnement, Chargé du Plan Climat, et du Plan d'Affectation des Terres, Libreville, 76 p.
- Primavera, J. H., 2004, Chapter 12: Philippine mangroves: Status, threats, and sustainable development", dans Vannucci, M., (éd.) *Management & Conservation: Present & Future* (United Nations University Press, pp. 192-207.
- Rakotomala, F. A., J. C. Rabenandrasana, J. E. Andriambahiny, R. Rajaonson, F. Andriamalala, C. Burren, J. R. Rakotoarijaona, B. L. E. Parany, R. Vaudry, S. Rakotoniaina, R. Ranaivosoa, P. Rahagalala, T. Randrianary et C. Grinand, 2015, Estimation de la déforestation des forêts humides

à Madagascar utilisant une classification multitempore d'images Landsat entre 2005, 2010 et 2013, *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, 211-212, pp. 11-23.

République Gabonaise, 1963, Loi gabonaise n° 10/63 portant sur le Code de la Marine Marchande Gabonaise, 12 janvier.

République Gabonaise, 1963, Loi n° 14/63 fixant la composition du domaine de l'État et les règles qui en déterminent les modes de gestion et d'aliénation, 8 mai.

République Gabonaise, 2013, Loi n° 4/2013 complétant certaines dispositions de la loi no 14/63 fixant la composition du domaine de l'État et les règles qui en déterminent les modes de gestion et d'aliénation, 14 août.

République Gabonaise, Direction Générale de la Statistique, 2015, Résultats globaux du Recensement Général de la Population et des Logements de 2013 du Gabon (RGPL-2013), Libreville, 195 p. + Annexes.

République Gabonaise, 2020, Arrêté n° 035 portant sur la révision de la liste des projets obligatoirement soumis à Étude d'Impact sur l'Environnement, 6 octobre.

Rogombe, L. G., M. Mbadinga, M. Okanga-Guay, E. Ondo Assoumou et J.-B. Mombo, 2020, Entre ville et villages : les usages des mangroves à Libreville et ses environs, *Revue Gabonaise d'Etudes Stratégiques et de Sécurité Maritime (ReGESMa)*, CENAREST (Gabon), 3, pp 19-64.

Safougne Djomekui B. L., A. Yemmafouo et G. C. Dzalla Ngangue, 2020, Problématique de l'approvisionnement en eau potable dans la « mangroville » au sud de Douala, Cameroun, *European Scientific Journal*, January edition, 16, 25, pp. 11-29.

Simula, M., 2009, Vers une définition de la dégradation des forêts: analyse comparative des définitions existantes, Document de travail 154, FAO, Italy, 63 p.

Spalding, M. et F. Blasco, C. Field (éd.), 1997, *World mangrove atlas*, The International Society for Mangrove Ecosystems, Okinawa, Japan, 178 p.

Taheri, M., B. Ahmadi, R. Amirfattahi et M. Mansouri, 2009, Assessment of depth of anesthesia using principal component analysis, *J. Biomedical Science and Engineering*, 2, pp. 9-15.

Tchatchou, B., D. J. Sonwa, S. Ifo et A. M. Tiani, 2015, *Déforestation et dégradation des forêts dans le Bassin du Congo : État des lieux, causes actuelles et perspectives*, Papier occasionnel 120, Bogor, Indonésie : CIFOR, 47 p.

UICN-PC, 2014, Les Facteurs de Déforestation et de Dégradation des Forêts: Résultats d'une analyse participative dans les Paysages TNS et TRIDOM (Cameroun, Congo, Gabon et RCA), Yaoundé, Cameroun. 81 p. + Annexes.

UICN, 2017, La Liste rouge des écosystèmes en France : Les mangroves de Mayotte, Paris, France, 72 p.

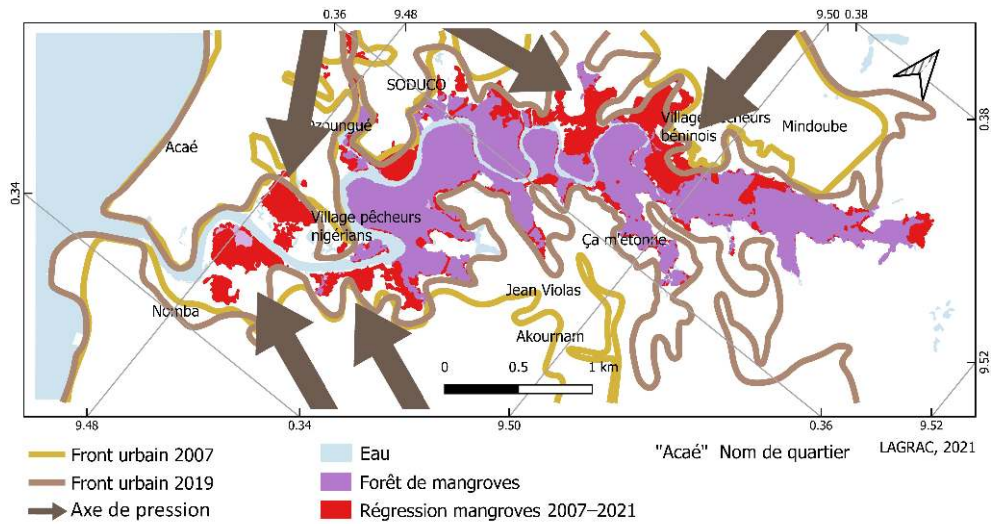
Union des États d'Afrique centrale, 2012, Règlement n° 08/12-UEAC-088-CM-23 portant adoption du Code Communautaire de la Marine Marchande de l'Union des États d'Afrique centrale.

Webber, M., H. Calumpang, B. Ferreira, E. Granek, S. Green, R. Ruwa et M. Soares, 2016, *Chapter 48: Mangroves*, UN World Ocean Assessment, United Nations, New York, NY, USA, 18 p.

Zaki, H., M. Benlyas, Y. Filali Zegzouti et M. Bouachrine, 2016, Méthodologie générale d'une étude ACP : Généralités, concepts et exemples, *Revue interdisciplinaire*, 1, 1, 8 p.

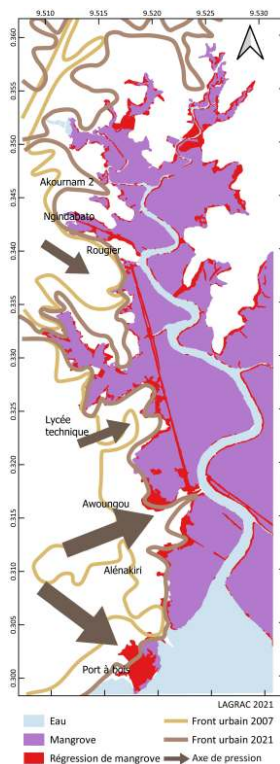
ANNEXES

Figure 5. Axes de pression urbaine sur la mangrove d'Okala-Angondjé / Axes of urban pressure on the Okala-Angondjé mangrove



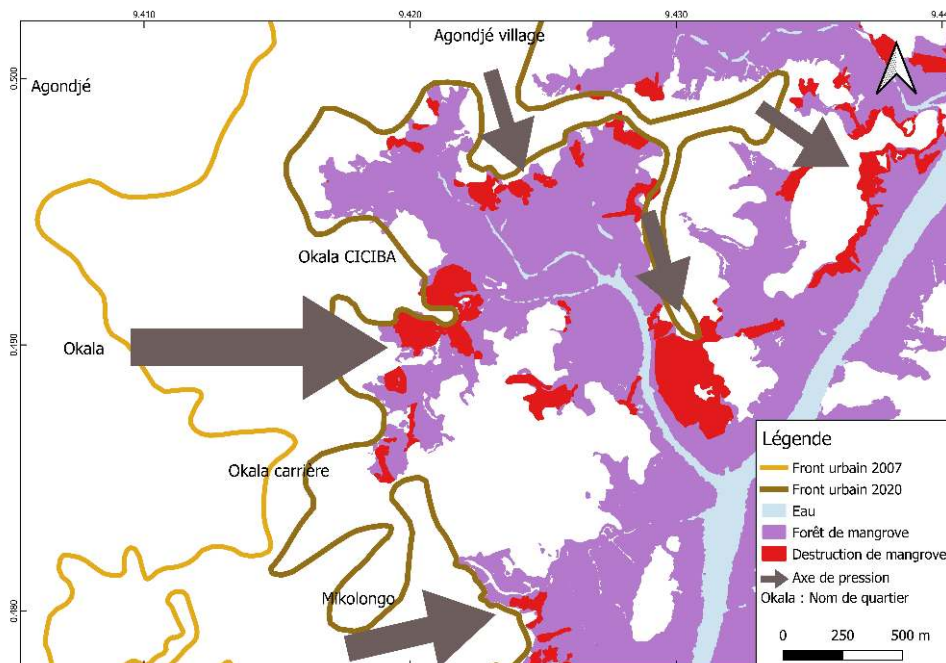
LAGRAC, 2021; élaborée à partir des classifications d'occupation du sol ; d'après les données Maxar Technologies.

Figure 6. Axes de pression urbaine sur la mangrove de la rivière Lowé / Axes of urban pressure on the Lowé mangrove



LAGRAC, 2021; élaborée à partir des classifications d'occupation du sol ; d'après les données Maxar Technologies.

Figure 7. Axes de pression urbaine sur la mangrove de la rivière Igoumié / Axes of urban pressure on the Igoumié mangrove



LAGRAC, 2021; élaborée à partir des classifications d'occupation du sol ; d'après les données Maxar Technologies.

Figure 9. Régression de la mangrove avec la construction du quartier des pêcheurs Béninois, entre 2007 et 2019 / Mangrove regression caused by the construction of the Beninese fishermen district, between 2007 and 2019



Sur l'image de gauche prise en 2007, la surface de mangrove est naturellement intacte, malgré des secteurs peu denses et la présence de tannes. Sur l'image au centre, prise le 5 mars 2019, l'espace a été transformé en quartier résidentiel, mais avec un habitat très particulier de la communauté de pêcheurs Béninois. Ces maisons en planches, construites sur pilotis et entrelacées de nombreuses passerelles, se retrouvent au-dessus de l'eau à marée haute. L'image de droite, prise 9 en décembre 2019, montre un quartier en grande partie détruit; environ 5 ha de maisons sur pilotis ont été démolies.

GE/Maxar Technologies, 12/06/2007, 05/03/2019 et 25/12/2019.

**Figure 10. Exemple de déforestation à Angondjé Village, états en 2007 et 2019 /
Example of deforestation in Angondjé Village, 2007 and 2019**



À Angondjé Village, l'implantation du Complexe touristique a favorisé la coupe d'environ 9 hectares de mangroves (image de droite).

GE/Maxar Technologies, 12/06/2007 et 26/01/2019.

NOTES

1. Le tanne (mot d'origine *Wolof*, au Sénégal) désigne la disparition des mangroves et le développement des surfaces nues résultant de l'acidification des sols, ou de la salinisation des sols et nappes. L'identification d'un tanne est difficile par télédétection ; seules des enquêtes exhaustives et des prélèvements spécifiques, site par site, et des analyses peuvent en déterminer la cause.
2. L'identification des remblais par photo-interprétation est parfois difficile selon leur ancienneté. En effet, un remblai très récent sera classé dans la catégorie sol nu, alors qu'un remblai de quelques semaines pourra être recouvert de végétation herbacée. Il peut être couvert d'une structure bâtie ou de végétation arbustive ou arborée s'il est plus ancien. Une confirmation par observation directe est nécessaire.

RÉSUMÉS

Malgré leur importance dans la stabilité et la santé des environnements côtiers, les mangroves sont soumises à des pressions importantes, majoritairement causées par des moteurs anthropiques. Les objectifs sont de mesurer la régression des surfaces de mangrove entre 2007 et 2020 dans l'espace urbain du Grand Libreville (Gabon) et d'identifier les moteurs anthropiques de déforestation. Pour cela, deux méthodes complémentaires ont été appliquées : une analyse de la dynamique de l'occupation du sol de trois sites caractéristiques, à partir d'orthophotos à très haute résolution, fournies par Maxar Technologies, et des observations directes. Ainsi, entre 2007 et 2020, les changements d'occupation du sol à Okala-Angondjé, Lowé et Igoumié sont surtout marqués par la progression du bâti et son empiètement sur la végétation. Tous les sites ont connu des régressions nettes de mangrove : 35,6 hectares à Okala-Angondjé, 46,9 hectares à Lowé et 36,6 hectares à Igoumié, donnant lieu à un taux de déforestation global de 0,8% par an. Les reculs d'origine anthropique y représentent 57% des régressions à Okala-Angondjé, 96% à la rivière Lowé et 78% dans la zone d'Igoumié. Les moteurs de déforestation sont multiples : expansions résidentielles, installation de quartiers de pêcheurs, implantations hôtelières ou touristiques, création et extension des décharges d'ordures, industrialisation, développement

portuaire et installations énergétiques. D'autres activités économiques ont provoqué quelques déforestations de mangrove, mais de plus faible ampleur : l'agriculture, l'élevage et l'aquaculture. Toutefois, le taux annuel de déforestation des mangroves urbaines dans la province gabonaise de l'Estuaire est plus élevé que la moyenne mondiale de déforestation des mangroves (0,11%).

Despite their importance to the stability and health of coastal environments, mangroves are under significant pressure, mostly from anthropogenic origins. The objectives are to measure the reduction of mangrove areas between 2007 and 2020 in the urban area of Greater Libreville (Gabon) and to identify the drivers of deforestation. To do this, two complementary methods were applied: an analysis of the land use dynamics of three characteristic sites, based on orthophotos of very high resolution provided by Maxar Technologies, and direct observations. Thus, between 2007 and 2020, land use changes in Okala-Angondjé, Lowé and Igoumié are mainly marked by the progression of buildings and their encroachment on vegetation. All sites have experienced a net mangrove regression: 35.6 ha in Okala-Angondjé, 46.9 ha in Lowé and 36.6 ha in Igoumié, resulting in an overall deforestation rate of 0.8%/year. Anthropogenic retreats represent 57% of the regressions in Okala-Angondjé, 96% in Lowé River and 78% in Igoumié area. The drivers of deforestation are multiple: residential expansions, installation of fishing districts, hotel or tourist establishments, creation and extension of garbage dumps, industrialization and port development and energy installations. Other economic activities (agriculture, livestock and aquaculture) have caused some deforestation of mangroves, but to a lesser extent. However, the annual rate of urban mangrove deforestation in Gabon's Estuary Province is higher than the mean rate of global mangrove deforestation.

INDEX

Keywords : urban mangrove, deforestation drivers, land cover, Great Libreville, Gabon

Mots-clés : mangrove urbaine, moteurs de déforestation, occupation du sol, Grand Libreville, Gabon, télédétection

AUTEURS

MARJOLAINE OKANGA-GUAY

Géographie urbaine et environnementale, enseignante-chercheuse, maître-Assistante CAMES
Laboratoire de géomatique, de recherche appliquée et conseil, Département des sciences
géographiques, environnementales et marines, Environnementales et Marines, Université Omar
Bongo, Libreville, Gabon, adresse courriel : m_okanga_guay@yahoo.fr

ROGOMBE LAETITIA GUYLIA

Géographie et aménagement, enseignante-chercheuse, assistante, Laboratoire de géomatique, de
recherche appliquée et conseil, Département des sciences géographiques, environnementales et
marines, Université Omar Bongo, Libreville, Gabon, adresse courriel : rogombelaety@gmail.com

ONDO ASSOUMOU EMMANUEL

Biogéographie, enseignant-chercheur, maître-assistant CAMES, Laboratoire de géomatique, de
recherche appliquée et conseil, Département des sciences géographiques, environnementales et
marines, Université Omar Bongo, Libreville, Gabon, adresse courriel : ondoassoumou@yahoo.fr

LEMBE BEKALE ALINE

Géographe des ressources, enseignante-chercheuse, assistante, Laboratoire de géomatique, de recherche appliquée et conseil, Département des sciences géographiques, environnementales et marines, Université Omar Bongo, Libreville, Gabon, adresse courriel : alinejo@yahoo.fr

AKENDENGUE AKEN IGOR

Géographe, attaché temporaire d'enseignement et de recherche, doctorant, Laboratoire de géomatique, de recherche appliquée et conseil, Département des sciences géographiques, environnementales et marines, Université Omar Bongo, Libreville, Gabon, adresse courriel : 2014aken@gmail.com

MOMBO JEAN-BERNARD

Géographie physique et environnementale, enseignant-chercheur, professeur titulaire CAMES, Laboratoire de géomatique, de recherche appliquée et conseil, Département des sciences géographiques, environnementales et marines, Université Omar Bongo, Libreville, Gabon, adresse courriel : jb.mombo@yahoo.fr