

Rôle des aires protégées forestières dans l'atténuation des effets du changement climatique : cas du Parc National de la Lopé et sa périphérie, Gabon

Présenté par

Maryse NGUEDJIM

pour l'obtention du Master en Développement de l'Université Senghor

Département Environnement

Spécialité Gestion des Aires Protégées et de la Biodiversité

Directeur de mémoire : **Arsène Alain SANON**

le 17 octobre 2023

Devant le jury composé de :

Prof Brice SINSIN Président

Professeur Titulaire, Université d'Abomey Calavi,
Bénin

Dr Ir Etotépé A. SOGBOHOSSOU Examinatrice

Maître de Conférence (CAMES), Université Senghor,
Alexandrie-Egypte

Remerciements

Nous tenons à présenter les vifs et sincères remerciements aux personnes et différentes institutions qui ont apporté leur aide et ont contribué à l'élaboration de ce mémoire :

L'Université Senghor d'Alexandrie qui nous a accueillis, et dont le corps administratif et professoral nous a accompagnés durant ce parcours.

Dr. Etotépé A. SOGBOHOSSOU, Directrice du Département Environnement, pour tous les efforts consentis pour le bon encadrement de la première à la deuxième année du master.

Mr Christian TCHEMAMBELA, Secrétaire exécutif de l'ANPN Gabon, structure au sein de laquelle, la présente étude a pu être réalisée. Notre reconnaissance va à l'endroit aussi de l'ensemble du personnel de l'ANPN Gabon pour la collaboration durant le stage.

Mes remerciements vont également à l'endroit du Coordonnateur du projet Inventaire des Ressources Naturelles du Gabon, Dr. MEDJIBE Vincent de Paul, pour son soutien, ses conseils avisés et sa grande disponibilité. Nous avons surmonté ensemble nombre de problèmes méthodologiques et scientifiques, qu'il trouve ici l'expression de ma parfaite considération.

A toute l'équipe de l'IRN, particulièrement ASSAPI ARANY Dona, BOUKANDOU Annie Flore, MAMBOUNDOU Juan Berretti, MAYAGUI Prince Arnold, NYANA DJAMBA Alexia F.J Epe BECKALE, qui nous ont cordialement accueillis, orientés et accompagnés tout au long de ce travail, veuillez recevoir notre profonde gratitude.

Nous remercions Dr. FAYOLLE Adeline, Professeur associé chargée de cours à la Faculté de Gembloux Agro-Bio Tech à l'Université de Liège, auprès d'elle nous avons trouvé des regards expérimentés, nous permettant ainsi d'affiner nos résultats et leurs analyses.

Dr. Arsène Alain SANON, Coordonnateur du Programme d'appui pour la préservation de la biodiversité et les écosystèmes fragiles, à la gouvernance régionale et au changement climatique (PAPBIO) et le Pr Souleymane KONATE, Secrétaire Général du CAMES, pour leur encadrement rigoureux, leur patience et pour les efforts déployés dans l'aboutissement de ce travail.

Tous les enseignants du Département Environnement pour les connaissances transmises et pour leurs orientations, lors de la rédaction de ce mémoire.

La famille, en particulier à NELKEM Jeannette et DINGUEMSENGAR Robert, NODJIKOUAMBAYE Pierrette, BEKOYE Doumdé Irénée et Lionel Ngarndigdji DINGUEMSENGAR. Votre soutien moral et financier ont permis de suivre ce travail avec calme et confiance.

Les camarades du Département Environnement de la XVIII^{ème} promotion, spécialement ceux de la spécialité Gestion des Aires Protégées, pour la solidarité qui nous a rassemblés, les échanges et le soutien qui nous a réunis durant deux années de formation.

Notre reconnaissance s'adresse enfin à tous ceux qui de près et de loin ont contribué à l'aboutissement de cette recherche, de même qu'à ceux qui auraient été oubliés. Qu'ils trouvent en ces mots l'expression de notre sincère gratitude.

Dédicace

A mon époux Opportun LAPIA et ma fille Malaïka LAPIA, puisse ce travail et ses fruits combler une part de vos innombrables sacrifices.

Résumé

Les solutions climatiques naturelles (SNC) sont devenues un élément majeur des objectifs d'atténuation du climat reconnus par la communauté scientifique et un large éventail de parties prenantes et de gouvernements dans le cadre de l'Accord de Paris (GIEC, 2019). Le raisonnement qui sous-tend les solutions climatiques naturelles est basé sur le fait que les écosystèmes terrestres, en particulier les forêts, continuent d'absorber des quantités importantes de CO₂ atmosphérique au cours de plusieurs décennies, ce qui en fait un puits de carbone de plus en plus important. Afin d'évaluer la contribution du Parc National de la Lopé (PNL) à l'atténuation des effets du changement climatique, une étude d'estimation du stock de carbone a été réalisée. Dans cette étude, la quantité de carbone ligneux a été estimée dans neuf (09) parcelles permanentes carrées de 100 x 100 m regroupées en trois catégories suivant le type de végétation. La méthode utilisée pour l'estimation des stocks de carbone est celle non destructive qui utilise les équations mathématiques dites allométriques. Les paramètres expliquant les variations structurales et influençant les stocks de carbone dans le parc tels que la diversité spécifique, la surface terrière, le diamètre et la hauteur des arbres ont été pris en compte. La quantité de carbone estimée dans les différentes parcelles s'élève à $252,60 \pm 19,68 \text{ MgC ha}^{-1}$, soit $927,0 \pm 72,21 \text{ Mg CO}_2\text{eq.ha}^{-1}$, qui est fortement liée à la structure forestière. Les familles qui présentent les valeurs les plus élevées de ces stocks sont les Caesalpiniaceae et les Burseraceae. Sur le marché du carbone, le CO₂ séquestré est susceptible de produire une valeur économique moyenne de la forêt estimée à 1 199 883,2 XAF (soit 1956,95 dollars américains) par hectare. La valeur économique totale du parc national de la Lopé est alors estimée à 589 582 530 000 XAF (près de 600 milliards de francs CFA) soit 961 435 715 dollars américains en fonction du marché du carbone. Cette étude contribue à la compréhension de l'apport des aires protégées forestières à l'atténuation des effets du changement climatique. Des actions de renforcement du potentiel ligneux de ces écosystèmes s'imposent pour minimiser leurs dégradations à long terme et afin qu'ils soient une source durable de séquestration du carbone et d'atténuation du changement climatique.

Mots-clefs

Aire protégée, biomasse, carbone, changement climatique, forêt, Parc National de la Lopé.

Abstract

Natural climate solutions (NCS) have become a major component of climate mitigation goals recognised by the scientific community and a wide range of stakeholders and governments under the Paris Agreement (IPCC, 2019). The rationale behind the CNS is based on the fact that terrestrial ecosystems, particularly forests, continue to absorb significant amounts of atmospheric CO₂ over several decades, making them an increasingly important carbon sink. In order to assess the contribution of the Lopé National Park (PNL) to mitigating the effects of climate change, a carbon stock estimation study was carried out. In this study, the quantity of woody carbon was estimated in nine (09) permanent square plots of 100 x 100 m grouped into three categories according to vegetation type. The method used for estimating carbon stocks is a non-destructive one that uses so-called allometric mathematical equations. Parameters explaining structural variations and influencing carbon stocks in the park, such as specific diversity, basal area, tree diameter and height, were taken into account. The quantity of carbon estimated in the various plots amounts to 252.60 ± 19.68 MgC ha⁻¹, or 927.0 ± 72.21 Mg CO₂eq.ha⁻¹, which is strongly linked to forest structure. The families with the highest values of these stocks are the Caesalpiniaceae and the Burseraceae. On the carbon market, the sequestered CO₂ is likely to produce an average economic value for the forest estimated at XAF 1,199,883.2 (USD 1956.95) per hectare. The total economic value of the Lopé National Park is therefore estimated at XAF 589,582,530,000 (nearly 600 billion CFA francs), or US\$961,435,715 based on the carbon market. This study contributes to understanding the contribution of forest protected areas to climate change mitigation. Actions to strengthen the woody potential of these ecosystems are needed to minimise their long-term degradation and to make them a sustainable source of carbon sequestration and climate change mitigation.

Key-words

Protected area, biomass, carbon, climate change, forest, Lopé National Park.

Liste des acronymes et abréviations utilisés

- AFD : Agence Française de Développement
- AFRITRON : African Tropical Rainforest Observation Network
- AGB : Biomasse aérienne
- BGB : Biomasse souterraine
- AGEOS : Agence Gabonaise d'Etude et d'Observation spatiales
- ANPN : Agence Nationale des Parcs Nationaux
- C₆H₁₂O₆ : Glucose
- CAFI : Initiative pour les forêts d'Afrique Centrale
- CCNUCC : Convention des Nations Unies sur les Changements Climatiques
- CE : Commission Européenne
- CIFOR : Centre de Recherche Forestière Internationale
- CO₂ : Dioxyde de Carbone
- COP : Conférence des Parties
- DRYFLOR : Latin American Seasonally Dry Tropical Forest Floristic Network
- FAO : Organisations des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
- FAT : Facteur
- FEM : Fonds pour l'Environnement Mondial
- GES : Gaz à Effet de Serre
- GIEC : Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat
- Gt.C : Gigatonne par hectare
- H₂O : Eau
- IFDD : Institut de la Francophonie pour le Développement Durable
- IRN : Inventaires des Ressources Naturelles
- MFME : Ministère de la Forêt, de la Mer et de l'Environnement
- NRF : Niveau de Référence
- NSG : Nouvelle Société Gabonaise
- O₂ : Oxygène
- OFAC : Observatoire des Forêts d'Afrique Centrale.
- ONG : Organisation non gouvernementale
- ONU-REDD : Programme de collaboration des Nations Unies sur la réduction des émissions liées à la déforestation et à la dégradation des forêts
- PNL : Parc National de la Lopé

- PNUD : Programme des Nations Unies pour le Développement
- PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement
- Ppm : Partie par million
- RAINFOR : Amazon Forest Inventory Network
- SETRAG : Société d'exploitation du Transgabonais
- SIG : Système d'Information Géographique
- UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature
- UNODC : Bureau des Nations-Unies de Lutte contre la Drogue et le Crime
- USAID : l'Agence des États-Unis pour le Développement International
- USFS : Service des Forêts des États-Unis
- USFWS : Service de la Faune et des Poissons des États-Unis
- ZEE : Zone Economique Exclusive

Table des matières

Rôle des aires protégées forestières dans l’atténuation du changement climatique : cas du Parc National de la Lopé et sa périphérie, Gabon	i
Remerciements	i
Dédicace	ii
Résumé	iii
Mots-clefs	iii
Abstract	iv
Key-words	iv
Liste des acronymes et abréviations utilisés	v
Table des matières	1
Chapitre 1 : Introduction générale	4
Chapitre 2 : Cadre théorique	7
1.1 Généralités sur le carbone forestier, le changement climatique et le rôle des aires protégées forestières	7
1.1.1 Carbone du secteur forestier et changement climatique	7
1.1.2 Fixation de carbone forestier	8
1.1.3 Rôle des aires protégées forestières dans l’atténuation du changement climatique	8
1.1.4 Réservoirs de carbone dans les forêts	9
1.2 Estimation de la biomasse ligneuse des formations forestières	11
1.2.1 Définition et importance des modèles allométriques	11
1.2.2 Estimation de la biomasse aérienne ligneuse	11
1.2.3 Estimation de la biomasse souterraine ligneuse	12
Chapitre 3. Matériel et méthodes	13
3.1 Présentation de la structure d’accueil	13
3.2 Zone d’étude	14
3.2.1 Localisation géographique	14
3.2.2 Climat	15
3.2.3 Hydrographie	15

3.2.4 Sols	16
3.2.5 Végétation	16
3.2.6 Contexte socio-économique dans la zone périphérique du parc	16
3.3 Matériel technique	17
3.4 Méthodologie de collectes des données	17
3.4.1 Détermination de l'emplacement des sites d'installation des parcelles	18
3.4.2 Taille des parcelles	19
3.4.3 Installation des parcelles	19
3.4.4 Mesures dendrométriques ($dbh \geq 10$ cm)	21
3.4.5 Mesures de diamètres dans la zone savane	22
3.4.6 Mesure de la hauteur des arbres	23
3.4.7 Diversité floristique	24
3.5 Traitements et analyses des données	25
3.5.1 Détermination de la diversité floristique	25
3.5.2 Structure diamétrique des arbres dans les parcelles	27
3.5.3 Estimation de la biomasse ligneuse	27
3.5.3.1 Biomasse aérienne	27
3.5.3.2 Biomasse souterraine	27
3.5.3.3 Biomasse totale, stocks de carbone et équivalent CO_2	28
3.5.4 Valeur économique du carbone	28
Chapitre 4 : Résultats	29
4.1 Attributs structuraux de la végétation du Parc National de la Lopé et sa périphérie	29
4.1.1 Caractéristiques des parcelles	29
4.1.2 Structure diamétrique des arbres dans les parcelles	29
4.1.3 Composition floristique du peuplement	30
4.1.4 Diversité spécifique	32
4.2 Biomasse estimée dans le Parc National de la Lopé et sa périphérie	32
4.2.1 Biomasse et quantité de carbone séquestré	32
4.2.1.1 Biomasse des dix familles ayant un indice de valeur important (IVI)	34
4.2.1.2 Biomasse des dix espèces ayant un indice de valeur important (IVI)	35
4.2.1.3 Biomasse et carbone en fonction des classes de diamètres	35

4.2.1.4 Carbone en fonction des paramètres de la végétation et de la diversité floristique	36
4.2.2 Valeur monétaire liée au carbone	37
Chapitre 5 : Discussion	39
Chapitre 6 : Conclusion, perspectives et recommandations	43
Références bibliographiques	45
Listes des illustrations	52
Listes des tableaux	53
Glossaire	53
Annexes	54
Annexe 1 : Fiche des métadonnées	54
Annexe 2 : Fiche des données de Diamètre et l'état de vie des arbres	56
Annexe 3 : Fiche de collecte des données des échantillons botaniques	57
Annexe 3.1 Code d'évaluation de l'état de vie des arbres et les techniques de mesure du diamètre (<i>Extrait de la méthodologie RAINFOR</i>)	58
Annexe 4 : Fiche des données des Hauteurs des arbres	59
Annexe 5 : Densité de carbone de chaque parcelle en fonction de classes de diamètres	61

Chapitre 1 : Introduction générale

L'environnement a été qualifié de "bien commun et public" en 1992 lors du Sommet de la Terre de Rio de Janeiro au Brésil (Olivero, 2019). Les zones forestières font partie des écosystèmes terrestres présentant la plus grande diversité biologique (CDB, 1992). Elles fournissent une variété de types d'habitats pour diverses espèces végétales et animales ainsi que pour les microorganismes. Leur multifonctionnalité se caractérise par le stockage et l'épuration de l'eau, l'atténuation des catastrophes naturelles et la séquestration des stocks de dioxyde de carbone (Gbozé *et al.*, 2017). Cette dernière fonction des forêts permet le maintien d'un climat typique. Les arbres captent et fixent le dioxyde de carbone (CO₂) atmosphérique pour répondre aux besoins photosynthétiques, ce qui diminue la concentration de CO₂ dans l'atmosphère (UICN, 2010).

Mais l'environnement est en constante évolution, en raison de facteurs naturels et d'origine humaine (FAO, 2010). Ces différents facteurs contribuent et/ou accélèrent le réchauffement climatique global. Ce dernier génère ou accentue, dans un cycle d'événements en interactions, un certain nombre d'effets négatifs, notamment la fonte des glaciers, une augmentation du niveau de la mer et des catastrophes naturelles comme les inondations, la dégradation des sols, les sécheresses, la désertification, le déclin de la biodiversité, la pollution et la raréfaction des eaux, les vents violents, et de nombreuses autres calamités.

Mansourian *et al.* (2009) ont démontré que les relations entre les forêts et les changements climatiques sont complexes. La déforestation, la dégradation et le changement d'affectation des terres dans les pays en développement, surtout des forêts tropicales, empêchent les forêts de réaliser plus de 20 % de leur potentiel de séquestration des émissions des gaz à effet de serre (GES) chaque année dans le monde (IPCC, 2007). La déforestation à elle seule, contribue à 10-15 % des émissions de GES d'après Van der werf *et al.* (2009).

De plus, la dégradation du couvert végétal, due à des phénomènes anthropiques ou naturels, provoque le rejet de carbone dans l'atmosphère en quantité supérieure à celle séquestrée par la végétation lors de la photosynthèse (Brown, 2002). La déforestation tropicale est responsable d'environ un dixième des émissions totales de carbone d'origine anthropique (Jean-Pierre & Philippe, 2021). À l'inverse, les forêts peuvent limiter ces émissions par la séquestration de carbone dans l'atmosphère (Mansourian *et al.*, 2009).

Dès lors, l'estimation de la biomasse forestière et des émissions de CO₂ associées revêt une importance capitale du fait de l'expression de nouveaux rôles donnés aux écosystèmes forestiers, comme le stockage du carbone pour atténuer le changement climatique (Bontemps *et al.*, 2012). Le CO₂ est en conséquence considéré comme un bien économique de grande valeur grâce aux initiatives visant à réduire les émissions du CO₂ et à promouvoir les activités qui contribuent à le stocker ou à l'éliminer (Seeberg-Elverfeldt, 2010).

C'est ainsi que les Parties à la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC, 2005) ont confirmé leur engagement à relever le défi mondial du changement climatique en mettant en place un mécanisme de réduction des émissions liées à la déforestation et à la dégradation des forêts (REDD+). Ce mécanisme prévoit des projets spécifiquement dénommés REDD+, qui visent à aider les pays en développement à conserver les forêts moyennant un dispositif de compensation financière des crédits carbone (Angelsen *et al.*, 2013).

Il y a d'importants stocks de carbone dans les forêts tropicales, qui abritent également une

importante biodiversité, et donc il y a un enjeu double à conserver ces forêts denses et intactes, au Gabon, particulièrement, qui se trouve être un pays de forte couverture forestière. Le pays abrite environ 23,59 millions d'hectares de surface forestière, ce qui représente 88 % de la superficie totale (AGEOS, 2016). Le Conseil National Climat du Gabon a estimé que les forêts gabonaises représentaient un puits net de carbone (c'est-à-dire tenant compte de la déforestation et de la dégradation) d'environ 33,8 Mt CO₂ sur la période 1990-2015, ce qui correspond à une augmentation des stocks de carbone dans la biomasse aérienne et les sols.

Cependant, cette surface forestière n'échappe pas au phénomène de la déforestation. À l'échelle nationale, la déforestation semble avoir augmenté récemment (2015-2020) et est estimée à 27,97 % (AGEOS, 2022). L'agriculture de subsistance et le développement des infrastructures (routes, etc.) sont également des moteurs reconnus de la déforestation au Gabon. Les effets combinés de ces activités humaines et des changements climatiques se font ressentir sur les aires protégées. Ils ont conduit aux altérations de la répartition des espèces et à la diminution de la taille de certaines populations (Mawdsley *et al.*, 2009).

Les aires protégées (AP) tropicales qui permettent de lutter contre la déforestation, peuvent donc jouer un rôle important dans l'atténuation du changement climatique et la protection de la biodiversité et des services écosystémiques. En effet, des études récentes montrent que les aires protégées tropicales du monde entier ont permis une réduction de 29 % des émissions de carbone causées par la déforestation entre 2000 et 2012, les aires protégées africaines contribuant à une réduction de 12,7 % des émissions (Doumenge *et al.*, 2021). D'après ces mêmes chercheurs, le niveau de protection le plus bas des AP a connu des taux de perte de forêt plus élevés, bien que le niveau de protection le plus élevé (catégorie 1 de l'UICN) ait enregistré des taux de déforestation allant jusqu'à 0,12 % par an. Par conséquent, il est nécessaire de développer des stratégies qui transforment les forêts en puits de carbone plutôt qu'en source d'émission de carbone (Dimobe, 2017).

La perspective de protéger la biodiversité et d'augmenter le potentiel de séquestration de carbone des ressources forestières est au cœur des préoccupations environnementales. Les forêts du Parc National de la Lopé, l'une des plus importantes du pays en termes de superficie, pourraient être un atout important pour le développement économique, social et environnemental du Gabon. Dans ce contexte, quelles sont les capacités de cette aire protégée à contribuer à l'atténuation des effets du changement climatique ? Quelles sont les actions à mener pour valoriser puis accéder aux financements actuellement alloués pour la capacité de séquestration de carbone ?

Pour répondre à ces questions, la présente étude se propose d'évaluer la quantité de carbone séquestrée par ces forêts, mettant ainsi en évidence le rôle et l'importance qu'elles jouent dans l'atténuation du changement climatique. Elle part des hypothèses selon lesquelles, la quantité de carbone stocké dans ces forêts est fonction des attributs structuraux sensu Poorter *et al.* (2015) et d'autre part, le potentiel de séquestration du carbone dépend de la diversité floristique.

L'objectif général de cette étude est d'évaluer le potentiel des forêts du Parc National de la Lopé dans l'atténuation des effets du changement climatique.

Spécifiquement, il s'agit :

- d'estimer le potentiel de séquestration de carbone du Parc National de la Lopé et sa périphérie ;

- d'évaluer les relations d'influence entre le rôle écologique et le rôle socioéconomique du parc et son alentour dans l'atténuation des effets du changement climatique ;
- de formuler des recommandations pour améliorer et valoriser le potentiel de séquestration.

Chapitre 2 : Cadre théorique

1.1 Généralités sur le carbone forestier, le changement climatique et le rôle des aires protégées forestières

1.1.1 Carbone du secteur forestier et changement climatique

L'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère est désormais considérée comme une cause majeure du changement climatique. Ce phénomène entraîne une augmentation de la température de la Terre et de la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes, ainsi qu'une élévation du niveau de la mer (Boer *et al.*, 2000). Le plus important de ces GES est le CO₂, dont la concentration atmosphérique a été modifiée de manière catastrophique par des perturbations anthropiques du cycle du carbone. En effet, l'augmentation spectaculaire de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère (420 ppm aujourd'hui) par rapport à l'ère préindustrielle (280 ppm) s'explique par la présence de deux sources anthropiques de carbone en augmentation depuis deux siècles : la consommation d'énergies fossiles (pétrole, gaz naturel, charbon) et la conversion des terres (en particulier la déforestation) (Jean-Pierre & Philippe, 2021 ; Van der werf *et al.*, 2009).

De 1980 à 2000, les émissions mondiales de carbone provenant de la consommation de combustibles fossiles étaient de 270 ± 30 Gt.C/an, tandis que le changement d'affectation des terres contribuait à 136 ± 55Gt.C/an (GIEC, 2000). Et elles ne cessent de croître, en 2022 on a enregistré 36,8 Gt.C/an d'émissions des combustibles fossiles soit un taux de 1,2 % par rapport à 2019.

Au Gabon, le rapport national d'inventaire des gaz à effet de serre démontre que la catégorie « Forêt et autres utilisations des terres (FAT) » domine en termes d'émissions/absorptions, représentant 95 % des absorptions nettes en 2017. Le secteur de l'énergie contribue à 4 % des émissions, mais en excluant le secteur des FAT, il représente 84 % des émissions. Ces pourcentages sont restés constants depuis 1994. Même en comparant les émissions brutes entre les secteurs, le secteur FAT est toujours en tête avec 90 % en 2005 et 85 % en 2017, suivi de l'agriculture et de l'énergie (Bekale *et al.*, 2021).

L'augmentation des émissions de GES a entraîné des transformations notables au Gabon, avec d'autres changements attendus selon les estimations des experts du climat si la tendance actuelle persiste. L'Agence gabonaise d'études et d'observation spatiales (AGEOS) en 2015 a signalé que le pays est confronté à une menace croissante de déforestation. Les principales causes de cette déforestation sont l'exploitation forestière (33,8 %), l'agro-industrie (20,7 %), l'exploitation minière (0,2 %) et la construction d'infrastructures telles que les barrages hydroélectriques (4,5 %) jouant un rôle secondaire. Une série d'autres facteurs, dont l'expansion urbaine, la construction de routes et les activités rurales, contribuent à 40,9 % de la déforestation.

Bien qu'elles soient d'importants séquestres de carbone qui interagissent en permanence avec l'atmosphère et sont sensibles à des facteurs externes tels que l'intervention humaine, les formations végétales sont détruites en raison de l'expansion de l'agriculture. Selon le rapport national d'inventaire des gaz à effet de serre, les pratiques agricoles contribuent aux émissions via la fermentation entérique et la gestion des déchets des divers animaux d'élevage présents dans le pays, ainsi qu'aux émissions sans CO₂ et aux sources agrégées des sols gérés.

La perte de couverture forestière (moyenne de $0,0208 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$) entraînée par l'expansion agricole a augmenté de 18,92 % en 2022 par rapport à la période 2018 - 2021 (Vancutsem *et al.*, 2021).

1.1.2 Fixation de carbone forestier

Les fixations de carbone dans les écosystèmes forestiers sont principalement influencées par les processus de photosynthèse (fixation du carbone) et de respiration (émission de carbone). La photosynthèse utilise le rayonnement solaire visible, qui comprend la moitié du rayonnement solaire mondial, comme l'a noté Waring et Schlesinger en 1985 (cité dans Campagna, 1996) pour convertir l'énergie.

Le processus de la photosynthèse peut être représenté par une équation chimique selon Taiz et Zeiger (2006) : $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$

Les arbres ont la capacité d'absorber le CO_2 de l'air et de le capturer dans diverses parties de leur structure, telles que les feuilles, les tissus ligneux, les racines et la matière organique du sol (CIFOR, 2013).

La respiration est le deuxième processus métabolique qui aide les arbres à utiliser l'énergie stockée dans les glucides, qui sont un sous-produit de la photosynthèse.

Selon Salisbury et Ross (1978), et Campagna (1996), l'équation chimique de la respiration cellulaire est la suivante : $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{énergie}$.

1.1.3 Rôle des aires protégées forestières dans l'atténuation du changement climatique

L'atténuation implique une série d'actions visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre et à augmenter la capacité des puits de carbone afin de limiter le changement climatique. Il s'agit de tout processus ou mécanisme qui absorbe le dioxyde de carbone et retient les stocks de carbone dans la matière organique comme les forêts, les océans et les sols (CIFOR, 2011).

Les liens entre le changement climatique et les forêts sont complexes et multiformes. Alors que les forêts ont le potentiel d'atténuer le changement climatique en absorbant le carbone, elles peuvent aussi l'aggraver si elles sont endommagées ou détruites. Inversement, le changement climatique lui-même peut entraîner la détérioration ou la perte de forêts, intensifiant encore son ampleur.

Une aire protégée est définie comme : « un espace géographique clairement défini, reconnu, consacré et géré, par tout moyen efficace, juridique ou autre, afin d'assurer à long terme la conservation de la nature ainsi que les services écosystémiques et les valeurs culturelles qui lui sont associées » (Dudley, 2008). Dans la gestion des effets du changement climatique, le rôle vital des aires protégées forestières ne peut être négligé. En effet, en luttant contre la déforestation et la dégradation des terres, les aires protégées participent au maintien des stocks et à la captation du carbone ainsi qu'aux équilibres climatiques (Lewis *et al.*, 2009 ; Makarieva *et al.*, 2009 ; Marquant *et al.*, 2015 ; Harris *et al.*, 2021).

Le rôle des gaz à effet de serre (GES) dans le transfert d'énergie entre la terre et son environnement est indéniable. Ces gaz créent un effet de serre atmosphérique qui capte une partie du rayonnement solaire réfléchi par notre planète, entraînant une augmentation de la température. Il est important de noter que l'accumulation de CO_2 est irréversible. Par

conséquent, l'objectif premier des politiques visant à lutter contre le changement climatique est de réduire les émissions de CO₂ (Lescuyer et Locatelli, 1999 ; Guesnerie, 2003).

Pour sauvegarder et améliorer les puits de GES, l'article 2 du Protocole de Kyoto exhorte les parties à établir et à exécuter des politiques qui approuvent la gestion durable des forêts, le boisement et le reboisement, tout en soulignant le rôle crucial des forêts dans la gouvernance du système climatique mondial (Tsayem, 2010). De plus, l'Accord de Paris sur le climat dans son article 5, rappelle aux Parties signataires de développer des stratégies visant à réduire les émissions dues au déboisement et à la dégradation des forêts (IFDD, 2016).

Il est important de noter que les aires protégées pourraient apporter une contribution substantielle et indéniable à l'atténuation du changement climatique. Par exemple, une première estimation, très globale, des stocks de carbone indique un stock total de 14,9 Gt C pour l'ensemble des aires protégées d'Afrique centrale, représentant potentiellement 3 années d'émissions dues aux énergies fossiles des États-Unis (OFAC, 2020).

De plus, les aires protégées offrent un large éventail d'avantages spécifiques à l'environnement. Ces avantages comprennent la fourniture d'habitats, d'abris, de nourriture, de matières premières, de ressources génétiques et le rôle de barrière contre les catastrophes naturelles. Elles servent également de source stable de ressources et contribuent à l'adaptation des espèces, des écosystèmes et des paysages au changement climatique. Pour remplir leur rôle de protection, il est vital que ces forêts restent à l'abri des activités humaines destructrices. De cette façon, elles peuvent continuer à fonctionner comme des réservoirs naturels de biens et de services pour les générations futures.

1.1.4 Réservoirs de carbone dans les forêts

La capacité des forêts à retenir et à séquestrer le carbone dépend du type d'utilisation qu'on en fait. Les forêts humides ou très humides ont une plus grande capacité de stockage de carbone que celles classées comme arides ou semi-arides (Ciesla, 1997a). La vitesse à laquelle les forêts assimilent le carbone atmosphérique dépend de leur composition floristique, leur âge et de leur taux de croissance. Les forêts en développement (jeunes) qui poussent rapidement absorbent de grandes quantités de carbone (Ciesla, 1997b). Par conséquent, la fonction des forêts en tant que puits de carbone peut être améliorée en reboisant les terres agricoles abandonnées, les zones dégradées, en gérant les forêts et en optimisant la croissance des arbres grâce à la sylviculture.

En résumé, les effets du changement climatique peuvent être atténués par la présence de forêts. Ainsi plusieurs auteurs (Ciesla, 1997c ; Ollat & Kremer, 2019 et PNUE, 2021) ont recommandé trois approches globales pour renforcer ce rôle :

- pour réduire les émissions de GES, il est important de réduire la nécessité de convertir les terres forestières à d'autres fins ;
- la création de réserves forestières ou de forêts protégées est cruciale pour la préservation des puits de GES actuels ;
- pour étendre les puits de GES, des efforts de reboisement, de promotion des plantations agroforestières et d'établissement de plantations urbaines peuvent être entrepris.

Afin de réduire avec succès les émissions nettes de GES des pays en développement d'ici 2050, il est impératif qu'une stratégie globale pour la foresterie soit mise en œuvre. Cette stratégie doit coïncider avec une révolution agricole et agroforestière, comme le suggérait Galbert (2013). Il est crucial que cette approche soit mise en œuvre au niveau mondial.

Le GIEC (2003) identifie cinq réservoirs de carbone dans les formations forestières. Le tableau 1 présente les différents réservoirs avec une description sommaire.

Tableau 1: Réservoirs de carbone dans les formations forestières (source : GIEC, 2003)

Réservoirs		Description
Biomasse vivante	Biomasse aérienne	Totalité de la biomasse vivante ligneuse et herbacée, y compris les tiges, souches, branches, écorces, semences et feuillage
	Biomasse souterraine	Totalité de la biomasse de racines vivantes à l'exception des radicelles de moins de 2 mm de diamètre
Matière organique morte	Bois mort	Totalité de la biomasse ligneuse morte qui n'est pas contenue dans la litière, et qui est sur pied, au sol ou dans le sol encore appelé "nécromasse"
	Litière	Totalité de la biomasse morte ; les détritiques sur le plancher forestier
Sols	Matières organiques du sol	Inclut le carbone organique des sols minéraux et organiques à une profondeur spécifiée

La biomasse totale des écosystèmes forestiers mondiaux en 2010 a été évaluée à 600 Gt, soit 149 tonnes par hectare de forêt selon la FAO (2010). Une part importante du carbone stocké dans les écosystèmes terrestres (plus de la moitié) se retrouve dans ces forêts comme le rapportent Boulier et Simon (2010). Une quantité substantielle (environ 2,4 Gt CO₂) est absorbée chaque année, comme l'indique le CIFOR (2013), faisant de ces forêts un puits de carbone précieux et un moyen essentiel de réduire le changement climatique, comme l'a rapporté la Banque mondiale en 2016. Dans les conclusions d'Ilboudo (2018), les stocks mondiaux de carbone dans les forêts rapportées par Dixon *et al.* (1994) s'élevait à 1 146 Gt (Tableau 2). Fait intéressant, les données ont montré que les forêts tropicales occupaient la plus grande part avec 45 %, tandis que les forêts de haute latitude représentaient 27% et les forêts tempérées 16 %. Olivier *et al.* (2020) ont en outre souligné que les forêts tropicales possédaient les stocks de carbone les plus élevés par hectare (200 tonnes par hectare).

Tableau 2 : Stock de carbone des écosystèmes forestiers (Source : Amthor et Baldocchi (2001) dans (Ilboudo, 2018))

	Forêt boréale de conifères	Forêt tropicale	Forêt tempérée de conifères	Forêt tempérée caducifoliée	Forêt mixte	Formation arbustive dense
Stock de carbone dans la végétation(t/ha)	60	140	50	70	60	30
Stock de carbone dans les sols (t/ha)	350	140	100	90	100	80

Pour recevoir des paiements pour les initiatives REDD+, les parties doivent fournir un niveau d'émission de référence pour les forêts (NRF/FRL), qui fera l'objet d'une évaluation technique (UN-REDD, 2015). L'ONU-REDD (2013) recommande de mesurer et de déclarer les cinq réservoirs de carbone (Tableau 1) dans le cadre des inventaires nationaux de GES. C'est ainsi qu'en 2021, le Gabon dans le cadre de son mécanisme REDD+ a proposé le NRF comme un moyen d'impulsion de la croissance économique nationale dans la perspective de devenir une économie émergente ayant pour fondement des politiques et des actions durables qui conservent ses écosystèmes naturels et contribuent aux efforts mondiaux en matière de climat (Lee *et al.*, 2021).

1.2 Estimation de la biomasse ligneuse des formations forestières

1.2.1 Définition et importance des modèles allométriques

L'équation allométrique est un modèle mathématique utilisé pour décrire la relation entre deux variables biologiques, généralement la taille et le poids ou la taille et la croissance d'un organisme. En foresterie, la relation allométrique implique le diamètre, la hauteur, la taille de la canopée, le volume de l'arbre et la biomasse (King, 1996). L'équation allométrique donne la relation statistique entre la taille de l'arbre et sa biomasse sèche (McGhee *et al.*, 2016). Ces modèles mathématiques sont de simples régressions qui peuvent être effectuées de manière non destructive pour estimer la biomasse à partir de paramètres mesurés sur les arbres (Mbow, 2009). À ce titre, ils représentent des éléments clés pour estimer la contribution des écosystèmes forestiers au cycle du carbone (Picard *et al.*, 2012).

1.2.2 Estimation de la biomasse aérienne ligneuse

Il existe deux méthodologies distinctes pour estimer la biomasse, l'approche indirecte et l'approche directe (Gibbs *et al.*, 2007). La première repose sur des équations allométriques, dont certaines sont spécifiquement créées pour les régions tropicales comme démontré par Chave *et al.* (2004) et Mbow (2009) ; et précédemment décrit par Brown (1997). La méthode directe, en revanche, implique l'échantillonnage physique des arbres, au cours duquel des échantillons sont coupés, pesés et séchés pour déterminer à la fois la biomasse et la teneur en carbone.

L'une des équations allométriques pantropicales les plus utilisées aujourd'hui est développée par Chave *et al.* (2014). Cette équation qui prédit la biomasse des arbres est de la forme $\rho D^2 H$,

où ρ fait référence à la gravité spécifique du bois, D est le diamètre de l'arbre à hauteur de poitrine (dhp) et H est la hauteur de l'arbre. Vieilledent *et al.* (2012) et Chave *et al.* (2014) affirment que la croissance allométrique entre la biomasse des arbres et $\rho D^2 H$ est universelle. Ce qui signifie qu'elle a la même relation entre les espèces, les sites, les climats ou les conditions du sol, et que la variabilité environnementale ne modifie que le diamètre en hauteur. De plus, lorsque le lien local entre la hauteur et le diamètre est inconnu, Chave *et al.* (2014) ont également fourni un modèle hauteur-dhp pantropical qui s'appuie sur l'indice climatique E . Même si l'indice E capture correctement les principales tendances de la variation de l'allométrie hauteur-dhp au niveau mondial, sa dépendance au seul climat peut apporter localement certaines incohérences lorsque des facteurs environnementaux non climatiques sont les moteurs de la variation de l'allométrie hauteur-dhp.

Les équations de Chave *et al.* (2014) s'écrivent :

$AGB = 0.0673(\rho D^2 H)^{0.976}$ (1) ; quand les valeurs de la hauteur des arbres sont disponibles.

$AGB = \exp(-1.803 - 0.976 \times E + 0.976 \ln \rho + 2.673 \times \ln D - 0.0299 \times (\ln D)^2)$ (2) ; quand les valeurs de la hauteur des arbres ne sont pas disponibles.

AGB, ρ , **D**, **H** et **E** représentent respectivement la biomasse aérienne (en kg), la densité spécifique du bois (en g/cm³), le diamètre de l'arbre à hauteur de poitrine (en cm), la hauteur totale de l'arbre (en m) et le stress environnemental (E).

Pour le bassin du Congo, des équations allométriques ont été développées et qui prennent en compte les différents types de forêts répartis sur les six (06) pays (Fayolle *et al.*, 2018) :

$AGB = 0.125 \times \rho^{1.079} \times D^{2.210} \times H^{0.506}$ (1) ; modèle avec hauteur des arbres

$AGB = \exp [0.046 + 1.1156 \times \log(\rho) + 1.123 \times \log(D) + 0.436 \times (\log(D))^2 - 0.045 \times (\log(D))^3]$ (2) ; modèle sans hauteur des arbres.

Ces équations sont performantes, robustes et leur utilisation conduit à une précision de 90% dans les estimations de la biomasse (Fayolle *et al.*, 2018).

1.2.3 Estimation de la biomasse souterraine ligneuse

Selon Picard *et al.* (2012), les mesures de la biomasse racinaire sont un processus particulièrement difficile par rapport à celles des biomasses aériennes. Pour résoudre ce problème, Brown et Pearson (2005) recommandent d'utiliser un modèle de régression pour estimer la biomasse souterraine en fonction des informations obtenues à partir de la biomasse aérienne. Par conséquent, le rapport racine/tige (**R**) est devenu une technique fondamentale pour estimer la biomasse souterraine à partir des biomasses aériennes plus facilement mesurables :

$$BGB = AGB \times R$$

Pour les forêts tropicales, le ratio utilisé est de 0,24 et 0,40 pour la savane (GIEC, 2006).

Chapitre 3. Matériel et méthodes

3.1 Présentation de la structure d'accueil

Créée en 2007 par la Loi n°003/2007 du 27 août 2007 relative aux parcs nationaux (PN), l'Agence Nationale des Parcs Nationaux (ANPN) est un établissement public à caractère scientifique et environnemental, doté de la personnalité morale et bénéficiant d'une autonomie administrative et financière. Elle est placée sous la tutelle administrative de la Présidence de la République et sous la tutelle technique du ministère de la Forêt, de la Mer et de l'Environnement (MFME).

L'ANPN est chargée de mettre en œuvre la politique du Gouvernement en matière de conservation et de la valorisation des ressources biologiques dans les PN et leurs zones tampons. Plus spécifiquement, elle a pour principales missions d'assurer la protection des PN et de leurs ressources naturelles, d'œuvrer au développement efficient du réseau des PN et de valoriser les PN et leurs ressources. L'ANPN est également chargée de la gestion et de la surveillance de l'Arboretum Raponda Walker, de la réserve présidentielle Wonga-Wongué et des huit sites RAMSAR du Gabon. En 2017, le Gabon a aussi créé un réseau de 20 aires marines protégées couvrant 26% de la Zone économique exclusive (ZEE) du pays. L'ANPN est aussi chargée de leur gestion durable.

En 2017, le Gouvernement du Gabon a annoncé sa volonté d'élargir le champ d'action de l'ANPN et de modifier son nom en Agence nationale pour la préservation de la nature. L'ordonnance prévoyait notamment de doter l'ANPN des fonctions de police forestière pour la surveillance des permis forestiers et le suivi de la bonne application des plans d'aménagements forestiers. La décision du Gouvernement n'est cependant pas encore officielle, les discussions sont en cours au sein de la deuxième chambre du Parlement gabonais.

Dès 2009, le renforcement des moyens financiers de l'ANPN a permis d'importantes avancées dans la lutte contre les braconniers. En effet, ses dépenses annuelles ont augmenté, passant d'environ 4,2 millions US \$ en 2010 à près de 20 millions US \$ en 2016. Le financement par le budget de l'État est stable depuis quelques années, autour de 5,8 millions US \$, mais les contributions des bailleurs de fonds internationaux se sont accrues (Prodoc-CAFI 2, 2019).

Actuellement, les effectifs de l'ANPN sont de l'ordre de 830 personnes. Le Secrétariat exécutif de l'ANPN situé à Libreville emploie 128 agents qui mettent en œuvre la politique des PN. Ces derniers sont répartis dans les unités suivantes : direction de la communication, direction financière, direction technique (y compris gendarmerie des PN et unité canine), direction des opérations, direction des ressources humaines, projet d'IRN et Programme Gabon Bleu. Sur le terrain, l'ANPN emploie 700 agents répartis dans les 13 PN et les autres aires protégées.

Depuis une dizaine d'années, l'ANPN a tissé de nombreux partenariats techniques et financiers à l'international. Parmi ses principaux partenaires, on peut citer la Commission européenne (CE), le Fonds pour l'environnement mondial (FEM), le Gouvernement américain

à travers plusieurs de ses agences, notamment l'Agence des États-Unis pour le développement international (USAID), le Service des forêts des États-Unis (USFS) et le Service de la faune et des poissons des États-Unis (USFWS), la Banque mondiale, l'AFD, le Programme des Nations unies pour le développement (PNUD), le Bureau des Nations-Unies de lutte contre la drogue et le crime (UNODC) ainsi que diverses Organisations non gouvernementales (ONG) internationales et des associations locales.

L'ANPN a conduit divers projets et activités qui justifient pleinement notre choix pour le stage de fin d'études et surtout vu le sujet sur lequel nous travaillons :

- **Projet d'Inventaire des ressources naturelles (IRN)**

Dès 2011, l'ANPN a été impliqué dans le processus de quantification de la biomasse et du carbone forestiers au Gabon. La première estimation des stocks de carbone du pays s'est faite grâce à un financement de la Fondation Moore & Packard. Les premiers résultats ont été publiés par SAATCHI *et al.* (2011).

Par la suite, en 2012-2013, l'ANPN a mis en œuvre un projet d'évaluation des stocks de carbone forestier au Gabon (GFCA) qui a initié l'établissement d'un réseau de parcelles forestières permanentes d'un hectare réparti selon un plan systématique aléatoire dans tout le pays. Il a notamment bénéficié de l'appui technique du Programme américain SilvaCarbon14, de l'Université California-Los Angeles, de l'Université de Duke, de l'Université de Leeds, ainsi que des financements d'Olam-Gabon et du Programme SilvaCarbon.

En 2013, la première phase de l'IRN a été finalisée par l'ANPN, avec la collecte de données sur 104 parcelles. Une analyse préliminaire des données a déjà permis d'obtenir plusieurs résultats importants (République du Gabon, 2013).

Dans ce cadre, des équipes de terrain ont été formées à la mise en place et à l'inventaire de parcelles forestières permanentes. L'ANPN a acquis une solide expérience dans la gestion et la coordination des équipes de terrain, mais également dans la gestion et le traitement des données des inventaires ainsi que leur interprétation scientifique.

3.2 Zone d'étude

3.2.1 Localisation géographique

La présente étude est réalisée dans le Parc National de la Lopé (PNL) qui s'étend sur 491 291 hectares et est situé au centre du Gabon, à 290 km de Libreville, la capitale (Figure 1). Il est compris entre 0° à 1°15 de longitude Sud et 15°15 à 12° de latitude Est. Il est à cheval sur quatre provinces : la province de l'Ogooué-Ivindo (département de la Lopé), la province de l'Ogooué-Lolo (département de l'Offoué-Onoye), la province de la Ngounié (départements de Tsamba Magotsi et de l'Ogoulou) et la province du Moyen-Ogooué (départements de l'Abanga-Bigné) (Plan de Gestion du Parc National de la Lopé 2006-2010, 2006).

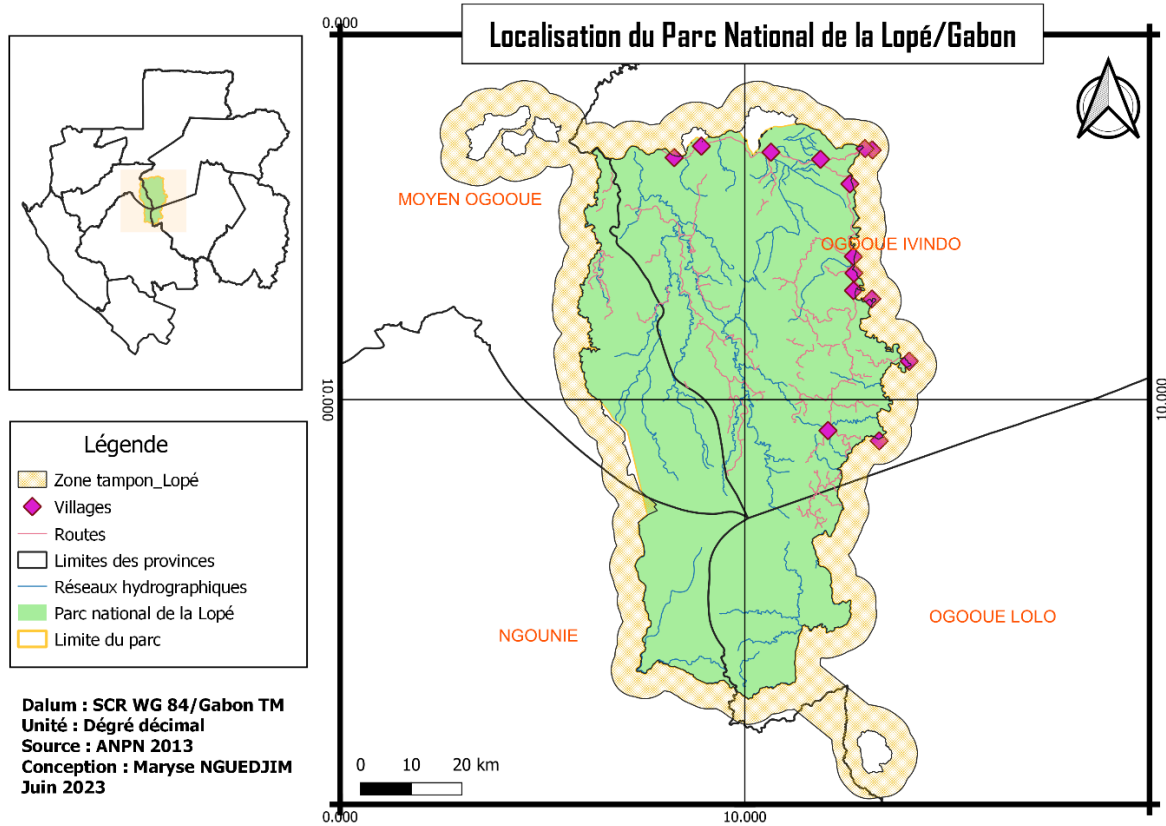


Figure 1 : Présentation de la zone d'étude

3.2.2 Climat

Le climat dans le Parc National de la Lopé est de type équatorial chaud et humide, marqué par deux saisons sèches (décembre à février et juin à mi-septembre) et deux saisons de pluies (mars à mai-juin et octobre à novembre). La quantité de pluie moyenne annuelle est autour de 1 500 mm, et figure parmi les plus faibles du pays (Nfoumou *et al.*, 2016). Cette particularité s'explique par un effet de « foehn » engendré sur le revers du massif du Chaillu et des monts de Cristal, bloquant une partie de la mousson atlantique (Saint-Vil, 1977). Les moyennes mensuelles des températures dans la région oscillent entre 20,6 et 30,8 °C.

3.2.3 Hydrographie

L'Ogooué, principal fleuve, s'accompagne d'un réseau hydrographique dense. Il présente entre Booué et Alembe (100 km) une pente moyenne de 10 m/km en une succession de rapides rendant difficile toute forme de navigation (ANPN, 2006). Entre sa confluence avec l'Offoué et les Portes de l'Okanda, le fleuve Ogooué réalise un bon drainage qui entraîne un net rajeunissement du relief avec une érosion intense donnant sur les versants escarpés, une topographie en marches d'escaliers. Des portes de l'Okanda à la confluence Ogooué/Mingoué, il s'encaisse profondément dans les formations du système cristallophyllien, ce qui donne une morphologie de crêtes aiguës avec des vallées étroites et un réseau hydrographique dense (Vande Weghe, 2001).

3.2.4 Sols

Les sols sont en majorité sableux à sablo-argileux. Dans les plaines fréquemment inondées, existent des sols hydromorphes. Dans le nord-est du parc, les sols possèdent une stone-line c'est-à-dire une nappe de matériaux grossiers (quartz, concrétions, morceaux de roche, etc.) à faible profondeur.

3.2.5 Végétation

La végétation du Parc National de la Lopé est une mosaïque de forêts et de savanes (Descoings, 1974). La partie nord du parc comprend une mosaïque d'anciennes savanes, de galeries forestières et des forêts à marantacées remarquables qui sont le résultat d'une colonisation forestière des savanes lors des derniers 2 000 ans et de micro-refuges de forêts anciennes à haute biodiversité. Au sud du parc, on rentre dans le refuge du Pléistocène du Massif du Chaillu, caractérisé par un fort endémisme (Conseil National des Parcs Nationaux, 2006). En tout, 6 types de savanes (5 % de la surface du parc) et 17 types de forêts peuvent être distingués en fonction des critères de composition et de structure (Mitchard *et al.*, 2012).

Globalement, cette végétation est dominée par les familles des *Rubiaceae*, *Caesalpinaceae*, *Mimosaceae* et *Papilionoideae*. Par ailleurs, les familles dominantes de la végétation de savane sont les *Poaceae*, les *Cyperaceae*, les *Papilionoideae*, les *Asteraceae* et les *Rubiaceae* accompagnées d'essences régulières telles que *Cola lizae*, *Begonia lopense*, et *Aframomum sericeum* dans les galeries forestières (White & Abernathy, 1996).

La flore du Parc National de la Lopé est riche et comporte plus de 1500 espèces aujourd'hui dont 57 (3,8%) sont endémiques ou subendémiques du pays (Vandeweghe *et al.*, 2016). Parmi celles-ci, 19 ne sont pas connues d'autres aires protégées. Il s'agit d'*Artabrotrys crassipetalus* et *Uvaria lastoursvillensis* (Annonaceae), *Hypselodelphys lopei* (Marantaceae), *Dichapetalum berendinae* et *D. mathisii* (Dichapetalaceae), *Aubletiana macrostachys*, *Crotonogyne parvifolia* et *Mareyopsis oligogyna* (Euphorbiaceae), *Hugonia sp. nov.* (Linaceae), *Angouardia le-testui* et *Eurypetalum sp.* (Fabaceae), *Begonia lopensis* (Begoniaceae), *Allophyllus imenoensis* et *A. le-testui* (Sapindaceae), *Cola lizae* et *C. tsandensis* (Malvaceae), *Vangueriella soyauxii* (Rubiaceae), *Hypoestes potamophila* et *Pseudocalyx macrophyllus* (Acanthaceae).

3.2.6 Contexte socio-économique dans la zone périphérique du parc

A l'échelle de la région, la densité de population humaine est très faible et le parc n'abrite pas de villages proprement dits.

La zone périphérique du Parc National de la Lopé, compte neuf villages (Ayem, Kongomboumba, Boléko, Kazamabika, Aschouka, Makoghé, Badondé, Mikongo et Ramba), deux gares de l'Office du Chemin de Fer Transgabonais (SETRAG) et un chantier forestier (NSG). Dans sa périphérie nord-est, se trouve la gare d'Offoué implantée au village Aschouka (ANPN, 2006).

Les études menées dans le parc en 2002 pour la réalisation du plan d'aménagement de la Réserve de Faune de la Lopé-Okanda fournissent les données démographiques et les activités économiques des villages (Tableau 3).

Tableau 3 : Données démographiques et activités économiques des villages périphériques du parc (source : Plan d'aménagement de la Réserve de Faune de la Lopé-Okanda (Déclaration de Mokeko) 2002

Village	Habitant	Activités économiques
Boléko-Lopé	674	Agriculture, pêche, chasse, élevage domestique, petit commerce, activités administratives, exploitation du bois de commerce et hôtel
Kazamabika	142	Agriculture, pêche, élevage domestique, chasse, de vin de palme, infirmerie, école,
Makoghé	95	Agriculture, pêche, élevage, commerce de vin de palme, chasse, NSG
Badondé	55	Agriculture, pêche, chasse, élevage, médecine traditionnelle, NSG
Aschouka	90	Agriculture, pêche, chasse, élevage domestique, fabrique de vin de maïs, NSG
Kongomboumba	55	Agriculture, pêche, vin de palme, médecine traditionnelle
Ayem	304	Agriculture, commerce gibier, poisson, administration

3.3 Matériel technique

Pour pouvoir atteindre les objectifs assignés à l'étude, le matériel suivant est utilisé :

- un GPS map 62 GARMIN pour prendre les coordonnées géographiques ;
- un appareil photo pour prendre des photos pour des illustrations ;
- un sécateur pour sectionner les spécimens destinés à l'herbier pour identification ;
- une boussole de marque RECTA pour l'orientation des parcelles ;
- l'alcool pour la conservation des échantillons des espèces non identifiées sur le terrain ;
- une machette pour ouvrir les layons, tailler les piquets pour faire les jalons, entailler les écorces des arbres pour l'identification et la facilitation du comptage ;
- deux tridécamètres pour l'installation des parcelles, la prise de diamètre ;
- des cordes pour délimiter les parcelles ;
- des jalons pour délimiter les parcelles ;
- des papiers journaux et une presse en bois pour le pressage et le séchage des herbiers ;
- une balance électronique pour peser les biomasses ;
- un hypsomètre Laser (TRUPULSE ou VERTEX) pour mesurer la hauteur des arbres ;
- un marteau pour pouvoir fixer les points portant les noms des arbres mesurés ;
- des fiches conçues pour l'enregistrement des données.

3.4 Méthodologie de collectes des données

L'approche adoptée de la présente étude est subdivisée en deux grandes phases : i) une revue documentaire avec la consultation des ouvrages et diverses publications en rapport avec cette thématique de recherche et ii) une étude sur le terrain. Pendant cette deuxième phase, les données de notre étude ont été collectées suivant l'inventaire des ressources naturelles du Gabon (IRN).

Les données permettant de calculer les stocks de carbone sont collectées directement sur les arbres par des mesures dendrométriques, ce grâce au matériel spécifique et des fiches conçues à cet effet et suivant le protocole développé par RAINFOR (*Amazon Forest Inventory*

Network) qui est très largement utilisé en milieu tropical pour sa rigueur et sa robustesse (Poulsen *et al.*, 2020).

3.4.1 Détermination de l'emplacement des sites d'installation des parcelles

L'emplacement des parcelles a été déterminé sur un échantillonnage aléatoire des terres forestières, conformément à la méthodologie de l'inventaire nationale. Cette approche a été adoptée pour répondre à plusieurs exigences des évaluations carbone à savoir :

- assurer une estimation non biaisée des stocks de carbone hors sol dans les forêts ;
- établir des parcelles permanentes pour quantifier la dynamique forestière et la séquestration du carbone à travers des mesures répétées ;
- fournir une estimation indépendante de la variabilité spatiale de la structure et de la biomasse de la forêt ;
- permettre l'étalonnage de la télédétection de l'ensemble du pays.

L'approche d'échantillonnage a utilisé l'algorithme de *Reverse Randomized Quadrant-Recursive Raster* (RRQRR) dans le logiciel de cartographie (SIG ; Système d'Information Géographique) pour développer des échantillons aléatoires dans une grille de 50 km x 50 km (Figure 2). Cette approche a conduit également à un échantillonnage plus efficace en fournissant plus d'informations par unité d'échantillon car chaque échantillon est réparti dans la population. La procédure d'échantillonnage aléatoire simple génère des points aléatoires au sein d'une population (terres forestières) définie par un polygone (grille de 50 km x 50 km).

L'approche d'échantillonnage aléatoire stratifié s'appuie sur le fait qu'à l'exception des données de topographie et de couverture terrestre, les autres couches de données utilisées pour stratifier les paysages forestiers comme le sol et le climat ne sont pas fiables dans leurs variations spatiales dans le parc. Ainsi, l'approche d'échantillonnage aléatoire simple ne dépend pas de données externes et a l'avantage d'être améliorée en augmentant le nombre d'échantillons sans perturber l'intégrité statistique globale des échantillons.

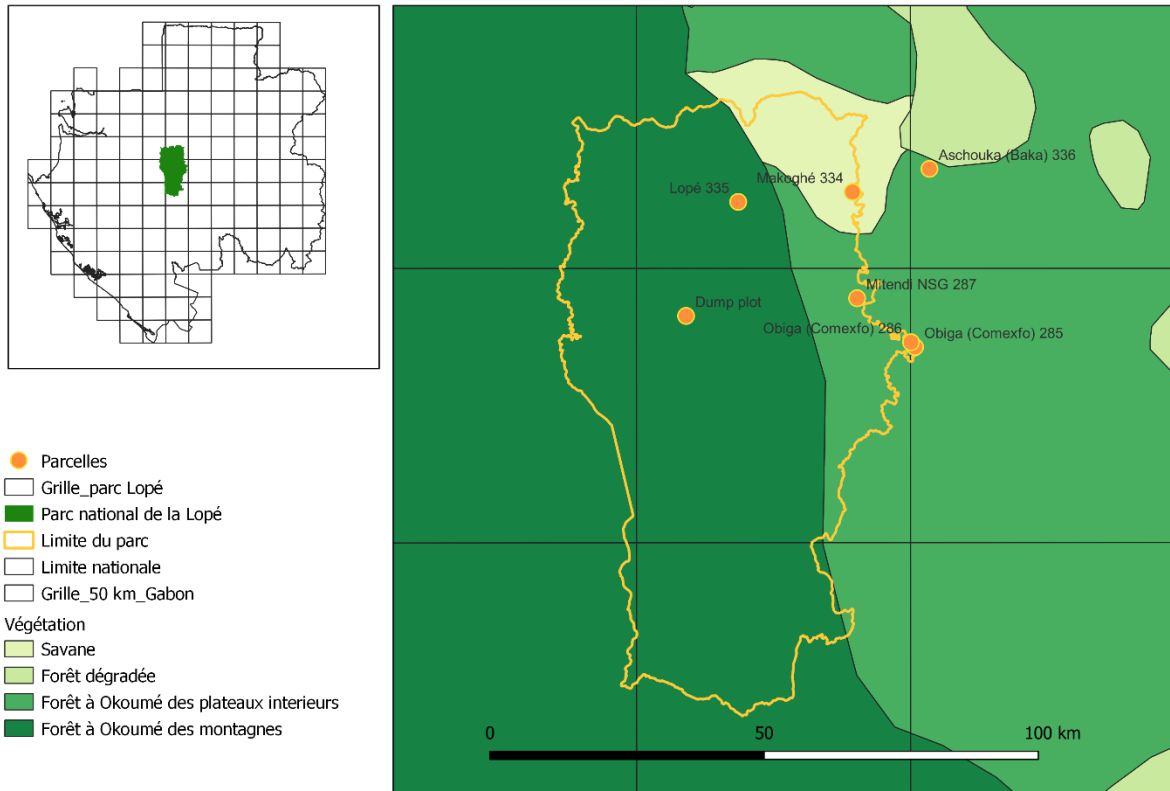


Figure 2 : Emplacement des sites d’installation des parcelles dans une grille de 50 km x 50 km (source : IRN, 2013)

3.4.2 Taille des parcelles

Dans le cadre de notre étude, la superficie d’un hectare est plus appropriée (Chave *et al.* 2004). Un hectare (1-ha) est une superficie standard et 20 x 20 m est une superficie pratique pour des sous parcelles, suivant le protocole RAINFOR (Phillips *et al.* 2009).

3.4.3 Installation des parcelles

Dans le cadre de notre étude (voir ci-dessus sur le choix de l’emplacement des parcelles), au total neuf (09) parcelles ont été installées comme unités d’échantillonnage. Quatre (04) se trouvent dans la forêt à Okoumé des montagnes, quatre (04) dans la forêt à Okoumé des plateaux et une (01) dans la savane. Suivant les types de végétation et réparties dans le site d’étude comme suit :

- Lopé 335 et Dump plot A, Dump plot B, Dump plot C dans la forêt à Okoumé des montagnes ; à l’intérieur du Parc National de la Lopé ;
- Ashouka (Baka) 336, Mitendi NSG 287, Obiga (Comexfo) 285, Obiga (Comexfo) 286 dans la forêt à Okoumé des plateaux intérieurs ; à la périphérie du Parc national de la Lopé ;
- Makoghé 334 dans la savane ; à la périphérie du parc.

Les parcelles n’ont pas été répliquées sur d’autres sites car cela ne faisait pas l’objet de l’étude.

L'installation de la parcelle commence avec la recherche du point d'origine qui a été généré préalablement à l'aide du logiciel de cartographie ArcGIS. Les coordonnées générées sont utilisées avec le *Global Positioning System* (GPS) qui permet de repérer le point d'origine de la parcelle. Ce point est automatiquement matérialisé à l'aide d'un piquet surmonté d'une banderole indiquant le premier coin (Sud-Ouest) de la parcelle.

Pour former le périmètre 100 x 100 m de la parcelle, la délimitation commence d'abord par l'ouverture des axes principaux (SW-NW et SW-SE) et ensuite les deux autres axes (NW-NE et SE-NE ; Figure 3). Le coin NE est toujours fermé en dernier afin d'éviter de désorienter les deux axes principaux.

Pour délimiter la parcelle en sous-parcelles, des piquets surmontés de banderoles sont utilisés pour matérialiser les points à 20 m d'intervalle sur les quatre axes, d'abord des bandes verticales de 20, 40, 60, 80 m suivant la direction Sud-Nord, et ensuite des bandes horizontales de 20, 40, 60, 80 m suivant la direction Ouest- Est. Les sous-parcelles de 20 x 20 m sont formées à l'aide des ficelles par l'intersection des lignes. Les points d'intersection sont matérialisés par des piquets indiquant la position dans la parcelle. Au total 25 sous-parcelles de 20 x 20 m sont formées et les coins de chacune d'elles sont matérialisés par des coordonnées (exemple (20,20), (40,40), (60,80), etc), précisant la position dans la parcelle (Figure 3).

Une fois la délimitation terminée, les coordonnées GPS sont prises pour les quatre coins de la parcelle (SW, NW, SE, NE) et ensuite le long de la bande horizontale à 40 m de l'origine sur l'axe Sud-Nord ((0,40), (20, 40), (40, 40), (60, 40), (80, 40), (100, 40)).

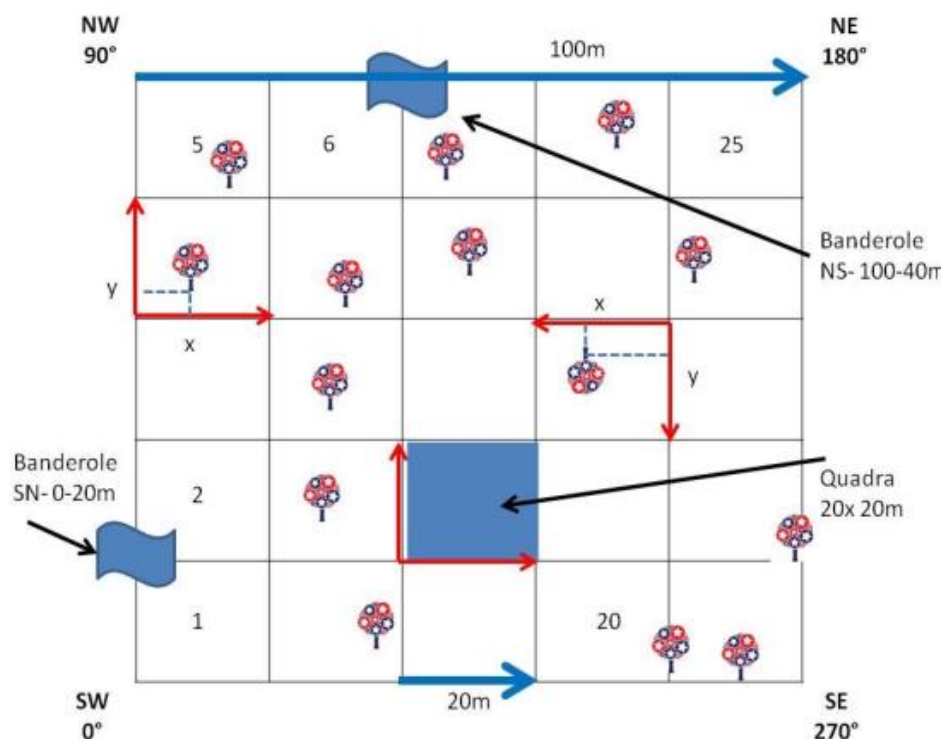


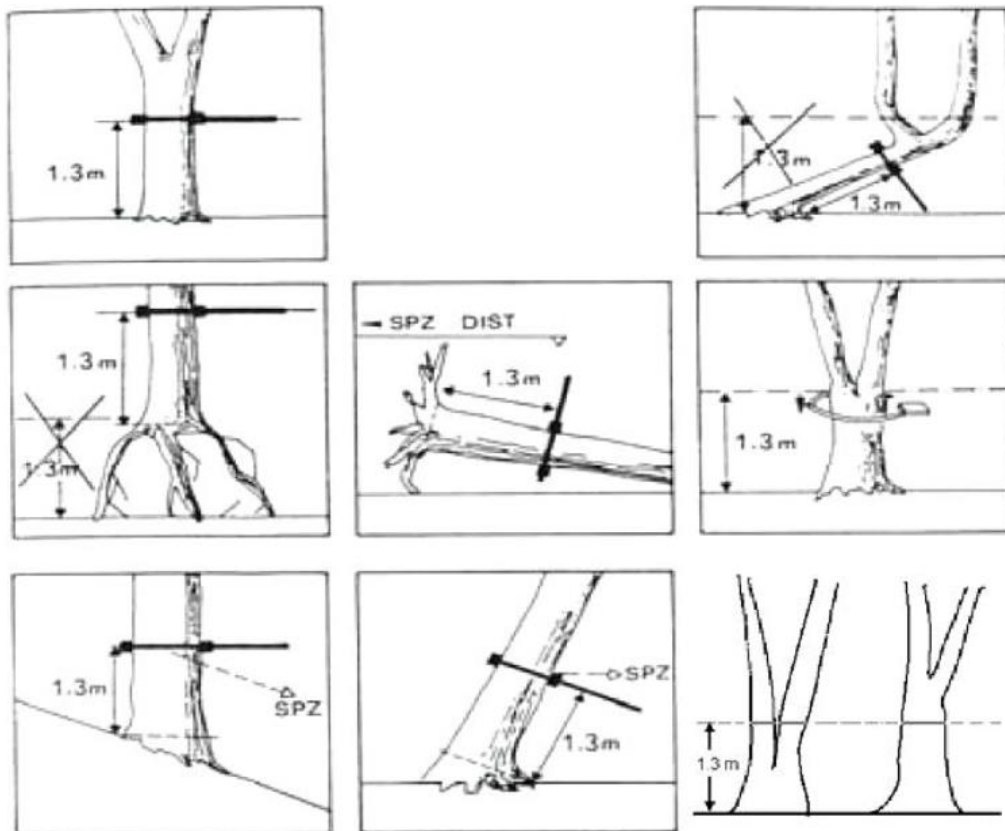
Figure 3 : Représentation schématique d'une parcelle, présentant les orientations à savoir pour l'inventaire et la cartographie (x et y) des arbres à l'échelle de ladite parcelle (source : Protocole IRN, 2022)

3.4.4 Mesures dendrométriques (dbh ≥ 10 cm)

La mesure des arbres dans la parcelle se fait de la manière suivante (Voir Annexes 1 et 2 pour les fiches de collecte des données). Il faut :

- Choisir le premier arbre de la sous-parcelle 1.
- Marquer le point de mesure du diamètre (PdM) à l'aide d'une craie forestière.
- Mesurer le diamètre (dbh) de l'arbre au point de mesure et noter le diamètre et le PdM sur la fiche de données.
- Matérialiser le PdM, l'endroit où le diamètre a été mesuré à l'aide d'une peinture (de préférence la couleur rouge).

Le diamètre de l'arbre est mesuré à 1,30 m au-dessus du sol. Pour les arbres à contreforts, le diamètre est mesuré à 30 cm au-dessus de la limite du contrefort le plus élevé. Ces mesures doivent également tenir compte de la position de la base de l'arbre et la forme du tronc (Figure 4).



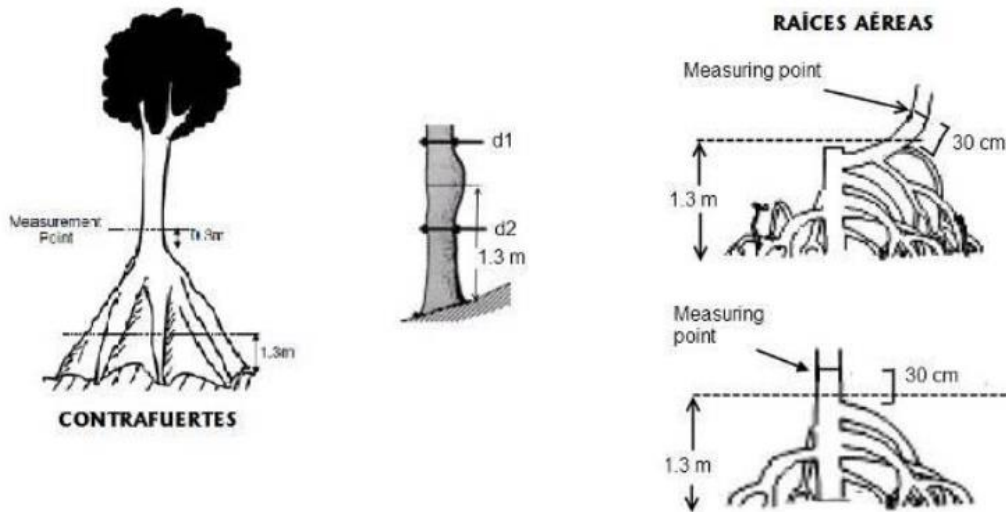


Figure 4 : Point de mesure du diamètre des arbres (source : Protocole IRN, 2022)

- Fixer à l'arbre un numéro surmonté sur une étiquette unique et qui est placé à 30 cm au-dessus du PdM à l'aide d'une pointe en aluminium et d'un marteau. Les pointes en acier doivent être évitées. Noter le numéro de l'arbre sur la fiche des données.
- Cartographier chaque arbre en déterminant les valeurs X et Y de sa position dans la sous-parcelle.
- Donner le nom scientifique de chaque espèce d'arbre mesuré. En cas de difficulté d'identification, des spécimens d'herbier sont collectés suivant le protocole botanique pour la confirmation d'identification dans un herbier (Voir Annexe 3 pour la fiche de collecte des données des échantillons botaniques).
- Évaluer l'état de vie des arbres mesurés. A cet effet, le code développé pour les parcelles AFRITRON¹ est utilisé (Annexe 3.1). Tous les arbres peuvent avoir une combinaison de 2 ou plusieurs codes en fonction de leur état de vie.
- Préciser la technique utilisée pour la mesure du diamètre des arbres (Annexe 3.1).

Les mesures sont faites sur chacun des arbres de la sous-parcelle 1 à 25. Le passage d'une sous-parcelle à l'autre suit l'ordre de numérotation de 1 à 25. Il est strictement inapproprié de chevaucher les numéros. Aussi, il faut toujours se rassurer que les fiches des données soient bien complétées avec toutes les informations nécessaires.

3.4.5 Mesures de diamètres dans la zone savane

La majorité des arbres des savanes ont des diamètres <10 cm à 130 cm (PdM) et de nombreuses tiges se fendent en dessous de cette hauteur. Le protocole habituel de RAINFOR consistant à ne mesurer que les arbres d'un diamètre ≥10 cm à 130 cm (PdM) est donc insuffisant pour capturer la diversité des espèces, la structure et le stockage du carbone dans

¹ Le Réseau d'Observation des Forêts tropicales humides Africaines ; <https://afritron.org/>

les savanes et les forêts sèches. Le protocole DryFlor² décrit comment mesurer tous les arbres ayant un diamètre de tige ≥ 5 cm au point de mesure (PdM) habituel (130 cm) ou une tige de diamètre ≥ 5 cm à un PdM supplémentaire (30 cm). Les mesures sont prises pour toutes les tiges ≥ 5 cm à 130 cm et/ou 30 cm.

Le PdM habituel et le PdM supplémentaire ne correspondent pas à la hauteur verticale au-dessus du sol. Ils doivent plutôt être mesurés comme la distance droite le long du tronc, même s'il est penché ou plié. 30 cm et 130 cm se réfèrent à la distance le long de la tige à partir du point où la tige quitte le sol. Les tiges doivent être mesurées à exactement 130 cm et 30 cm dans la mesure du possible (Figure 5).

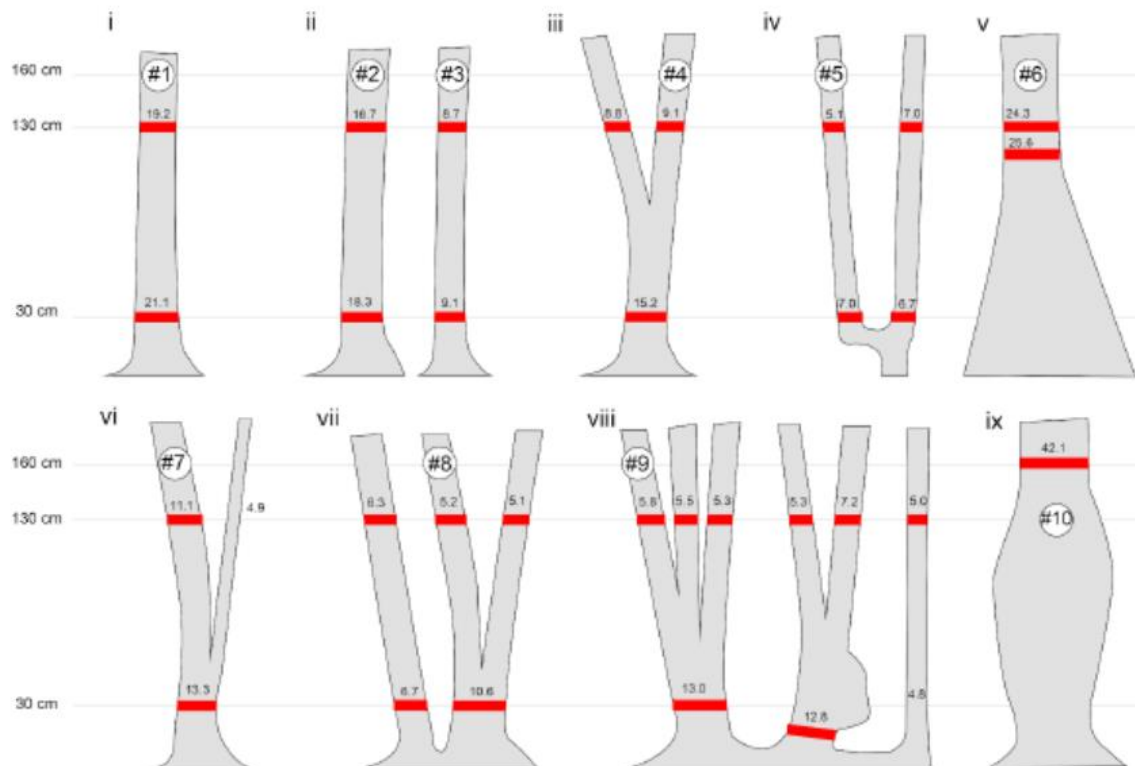


Figure 5 : Points de mesure du diamètre des arbres dans la zone savane (source : Protocole IRN, 2022)

3.4.6 Mesure de la hauteur des arbres

D'après le protocole IRN, la hauteur des arbres est mesurée à l'aide d'un hypsomètre Laser (TRUPULSE ou VERTEX). Pour chacune des parcelles, la hauteur est mesurée pour 55 arbres répartis dans différentes classes de diamètre (10 arbres pour chacune des classes : 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-50 cm et 50-60 cm ; et 5 arbres pour la classe de plus de 60 cm de diamètre).

² The DryFlor Field Manuel for Plot Establishment and Remeasurement ; <http://www.dryflor.info/publications/protocols>

Pour chaque arbre, trois mesures sont faites à partir des endroits différents à une distance approximativement égale ou supérieure à la hauteur de l'arbre et les valeurs de la hauteur sont notées sur la fiche des données (Voir Annexe 4)

Il est à noter que les arbres retenus pour les mesures de la hauteur ne doivent pas être regroupés au sein d'une même sous-parcelle mais plutôt être répartis sur plusieurs, environ un minimum de 15 sous-parcelles.



Figure 6 : Mesure de la hauteur de l'arbre avec l'Hypsomètre Laser

3.4.7 Diversité floristique

Dans chacune des parcelles, tous les arbres ayant un diamètre supérieur ou égal à 10 cm pour les zones de forêts et 5 cm pour les zones de savane sont systématiquement identifiés au niveau de l'espèce. Par ailleurs, pour les arbres qui ne pourraient être identifiés sur le terrain, des spécimens d'herbier sont collectés. Ils sont ensuite traités (montage des presses), séchés puis envoyés à l'herbier national pour détermination des noms scientifiques.



Figure 7 : Prélèvements de spécimens d'herbier

3.5 Traitements et analyses des données

Une fois les données recueillies, Microsoft EXCEL 2010 a été utilisé pour les traiter, et la version 9.1.0 du logiciel EstimateS (Colwell, 2013) a ensuite été utilisée pour les analyser pour la diversité alpha, et les indices de Shannon et de Simpson avec 100 itérations. La commande "qqnorm" du logiciel statistique libre R version 4.2.3 (The R Foundation for Statistical Computing, 2023) a été utilisée également pour tester la normalité de la distribution des paramètres. Pour déterminer si la quantité de carbone stockée était liée aux paramètres structurels de la végétation (y compris la densité spécifique du bois, le diamètre des arbres et la surface terrière) et à la diversité floristique (nombre d'espèces), des analyses de régression ont été effectuées à l'aide de la commande "lbm".

3.5.1 Détermination de la diversité floristique

Pour mesurer la dominance d'une espèce ou de la famille des arbres dans le site d'étude, l'indice de valeur d'importance a été déterminé. Ces mesures sont faites en déterminant :

- La densité relative qui est le rapport entre les individus d'une famille ou espèce et le nombre total d'individus dans l'échantillon

$$DER = 100 \times \frac{\text{Nombre d'individus d'une famille ou espèce}}{\text{Nombre total d'individus dans l'échantillon}}$$

- La dominance relative qui correspond à la surface terrière d'une espèce ou famille

$$DOR = 100 \times \frac{\text{Surface terrière d'une famille ou espèce}}{\text{Surface terrière totale de l'échantillon}}$$

- La fréquence relative qui correspond au nombre d'unités d'échantillonnage contenant cette espèce ou famille

$$FRR = 100 \times \frac{\text{Fréquence d'une famille ou espèce}}{\text{Total des fréquences de toutes les familles ou espèces}}$$

- L'indice de valeur d'importance qui correspond à la somme de la densité relative, la dominance relative et la fréquence relative de la famille ou espèce.

$$IVI = DER + DOR + FRR$$

D'autres indices de diversité ont été également déterminées à savoir :

- L'indice de diversité Alpha (α) de Fisher représente le nombre d'espèces que compte une communauté sans tenir compte de l'abondance relative de chacune des espèces (Conotte, 2020). Il est indépendant de la richesse de l'échantillon, et il a déjà été utilisé pour comparer la richesse floristique des forêts tropicales entre continents, à l'échelle de parcelles (Parmentier *et al.*, 2007) et de régions (Slik *et al.*, 2015).
- L'indice de diversité de Shannon mesure la composition en espèce d'un peuplement en tenant compte de la richesse spécifique et de leur abondance relative (Conotte, 2020). Il est donné par l'expression de l'équation suivante :

$$H' = - \sum_{i=1}^S \left(\frac{ni}{N} \right) \ln \left(\frac{ni}{N} \right)$$

Dans cette formule, H' désigne l'indice de Shannon, ni le nombre d'individus d'une espèce i et N le nombre total de toutes les espèces. Les valeurs de cet indice varient entre 0 et $\ln S$ qui est la diversité maximale (S étant le nombre total d'espèces dans le milieu). Lorsque le peuplement est composé d'une seule espèce, il est égal à 0, contrairement pour une flore présentant une grande diversité, il tend vers $\ln S$.

- L'Indice de Simpson aussi appelé indice de dominance mesure la probabilité que deux individus tirés au hasard à partir d'un échantillon appartiennent à la même espèce (Conotte, 2020).

$$E = 1 - \sum_{i=1}^S Pi^2$$

Où :

Pi représente l'abondance proportionnelle de l'espèce et est compris entre 0 et 1 : $Pi = \frac{ni}{N}$

S est la richesse spécifique.

L'indice de Simpson varie dans l'intervalle $[0,1[$. Cet indice tend donc vers 0 lorsque la diversité est minimale et vers $1 - \frac{1}{S}$ lorsque la diversité est maximale.

3.5.2 Structure diamétrique des arbres dans les parcelles

Pour chaque type de végétation, les arbres de toutes les parcelles ont été répartis en classes de diamètres structurées comme suit :

Groupe	Classe zone forêt (cm)	Classe zone savane (cm)
G0	10-20	5-10
G1	20-30	10-20
G2	30-40	20-30
G3	40-50	30-40
G4	50-60	40-50
G5	60-70	50-60
G6	70-80	60-70
G7	80-90	70-80
G8	90-100	80-90
G9	> 100	> 90

3.5.3 Estimation de la biomasse ligneuse

3.5.3.1 Biomasse aérienne

L'estimation de la biomasse aérienne des arbres dans la parcelle est réalisée à partir des modèles allométriques de Fayolle *et al.* (2018) pour les forêts du bassin du Congo et qui intègre les données du Gabon.

$$AGB = 0.125 \times \rho^{1.079} \times D^{2.210} \times H^{0.506} \quad (\text{Equation 1})$$

Avec $H = 43.98 - (35.98 \times (\exp(-0.019 \times D^2)))$ (Equation 2), équation élaborée avec les données des parcelles IRN (Poulsen *et al.* 2020).

Le parc de la Lopé étant un mosaïque forêt-savane, l'estimation de la biomasse dans la zone de savane est réalisée à travers les équations suivantes développées par Ifo *et al.* (2018) :

$$AGB = 0.6229 \times (\rho \times D^2 \times H)^{0.7031} \quad (\text{Equation 3})$$

$$H = 6.755 - 5.570 \times \exp(-0.0946 \times D) \quad (\text{Equation 4})$$

Les valeurs de la gravité spécifique (ρ) ont été extraites de Zanne *et al.* (2009). Pour les espèces pour lesquelles les valeurs ne sont pas trouvées, la moyenne de valeurs existantes au niveau du genre ou de la famille ont été appliquées (Lewis *et al.*, 2009).

3.5.3.2 Biomasse souterraine

Les estimations de la biomasse racinaire ont été évaluées selon les recommandations élaborées par le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC, 2006). En effet, selon cette dernière, l'équivalence de la biomasse racinaire chez les ligneux sur pied

a été estimée en multipliant la valeur de la biomasse aérienne (AGB) par le coefficient **R** (rapport tige/racine), qui a été estimé à 0,24.

$$BGB = AGB \times R \quad (\text{Equation 5})$$

3.5.3.3 Biomasse totale, stocks de carbone et équivalent CO₂

La biomasse totale des ligneux est estimée de la manière suivante :

$$BT = AGB + BGB \quad (\text{Equation 6})$$

Selon le rapport du GIEC de 2006, la biomasse totale estimée par les différentes équations est multipliée par 0,47 pour la convertir en stocks de carbone séquestré correspondants. Concernant le stock de CO₂ atmosphérique stocké, il est admis que la masse atomique du carbone (MaC) est égale à 12 et celle de l'oxygène est de 16. La masse moléculaire du CO₂ est de 44.

Par conséquent, le rapport de liaison du carbone (C) à l'oxygène (O₂) est de 3,67. Le stock équivalent de CO₂ atmosphérique est estimé en multipliant le stock de carbone dans la biomasse par 3,67.

3.5.4 Valeur économique du carbone

La valeur économique du carbone séquestré par le Parc National de la Lopé est la somme qui résulterait de la vente du crédit de carbone séquestré par les arbres sur les marchés. Et pour pouvoir obtenir cette valeur, les tonnes de CO₂ équivalent sont multipliées par le prix moyen de vente de crédit carbone en se référant au NRF et de l'annexe technique REDD+ du Gabon soumis à la CCNUCC.

Chapitre 4 : Résultats

4.1 Attributs structuraux de la végétation du Parc National de la Lopé et sa périphérie

4.1.1 Caractéristiques des parcelles

Dans le cadre de notre étude, au total neuf (09) parcelles ont été installées dans le Parc National de la Lopé et sa périphérie dont 4 se trouvent dans la forêt à Okoumé des montagnes, 4 dans la forêt à Okoumé des plateaux et 1 dans la savane (Tableau 3).

Le diamètre des arbres (DBH) est significativement différent entre les parcelles ($F=383.7$; $df=1885$; $p < 0.001$), de même que la surface terrière (BA) ($F=50.79$; $df=1885$; $p < 0.001$) et la biomasse aérienne (AGB) ($F=31.96$; $df=1885$; $p < 0.001$). Ces différences sont également observées au niveau des parcelles se trouvant dans les zones de forêt et la zone de savane pour l'AGB ($F=92.59$; $df=1891$; $p < 0.001$), le DBH ($F=1129$; $df=1891$; $p < 0.001$) et la BA ($F=146.4$; $df=1891$; $p < 0.001$).

Pour les parcelles des forêts, la densité des arbres varie entre 169 et 278 par hectare avec des diamètres moyens variant entre 24,6 et 32,7 cm et la densité de la biomasse aérienne variant entre 197,43 et 433,43 Mg ha⁻¹.

Parmi toutes les parcelles, la parcelle Aschouka 336 qui se trouve dans la forêt à Okoumé des plateaux présente un nombre élevé en termes de la densité des arbres (278 arbres ha⁻¹), le plus gros arbres ($D_{max} = 195$ cm), une surface terrière plus élevée (35,05 m² ha⁻¹) résultant ainsi à une forte densité en biomasse aérienne (433,43 Mg ha⁻¹).

Tableau 4 : Caractéristiques des parcelles sur le site d'étude

Parcelles	Nbre d'arbres	DBH (moy±sd ; cm*)	DBH Max. (cm)	BA (m ² /ha)	Hauteur (moy±sd ; m)	AGB (Mg/ha)	Habitat
Aschouka 336	278	32,7±23,2	195	35,08	23,3±5,9	433,43	For. Plat
Dump plot A	169	27,6±24,3	134	17,90	21,0±6,8	252,21	For. Mo
Dump plot B	219	28,0±22,4	140	22,14	21,4±6,6	313,76	For. Mo
Dump plot C	175	24,6±18,7	150,7	13,10	20,4±5,7	197,43	For. Mo
Lopé 335	265	31,4±21,9	130,1	30,50	22,8±6,4	427,65	For. Mo
Makoghé 334	70	23,2±13,3	70,5	3,93	19,1±7,1	33,76	Savane
Mitendi 287	212	28,4±21,5	181	21,03	21,7±5,8	265,71	For. Plat
Obiga 285	272	26,0±16,1	110	19,98	21,2±5,1	236,36	For. Plat
Obiga 286	234	31,9±25,1	180,5	30,17	22,7±6,5	369,04	For. Plat

* moy = moyenne et sd = écart type. For.Plat = forêt à Okoumé des plateaux ; For.Mo = forêt à Okoumé des montagnes ; AGB = biomasse aérienne

4.1.2 Structure diamétrique des arbres dans les parcelles

Il apparaît que la classe de diamètre du groupe 0 (G0 ; 10-20 cm) est la plus représentée dans le peuplement étudié (Figure 7a) ; les individus de diamètres supérieurs à 50 cm (G4+) sont moins représentés. Et c'est le même cas suivant les types de végétation (Figure 7b). La

distribution générale du peuplement montre des forêts beaucoup dynamiques avec une régénération naturelle bien en place, représentée par cette tendance décroissante « J renversé » à forte pente. Cette structure montre que le Parc National de la Lopé dispose d’arbres d’avenir pour assurer sa reconstitution.

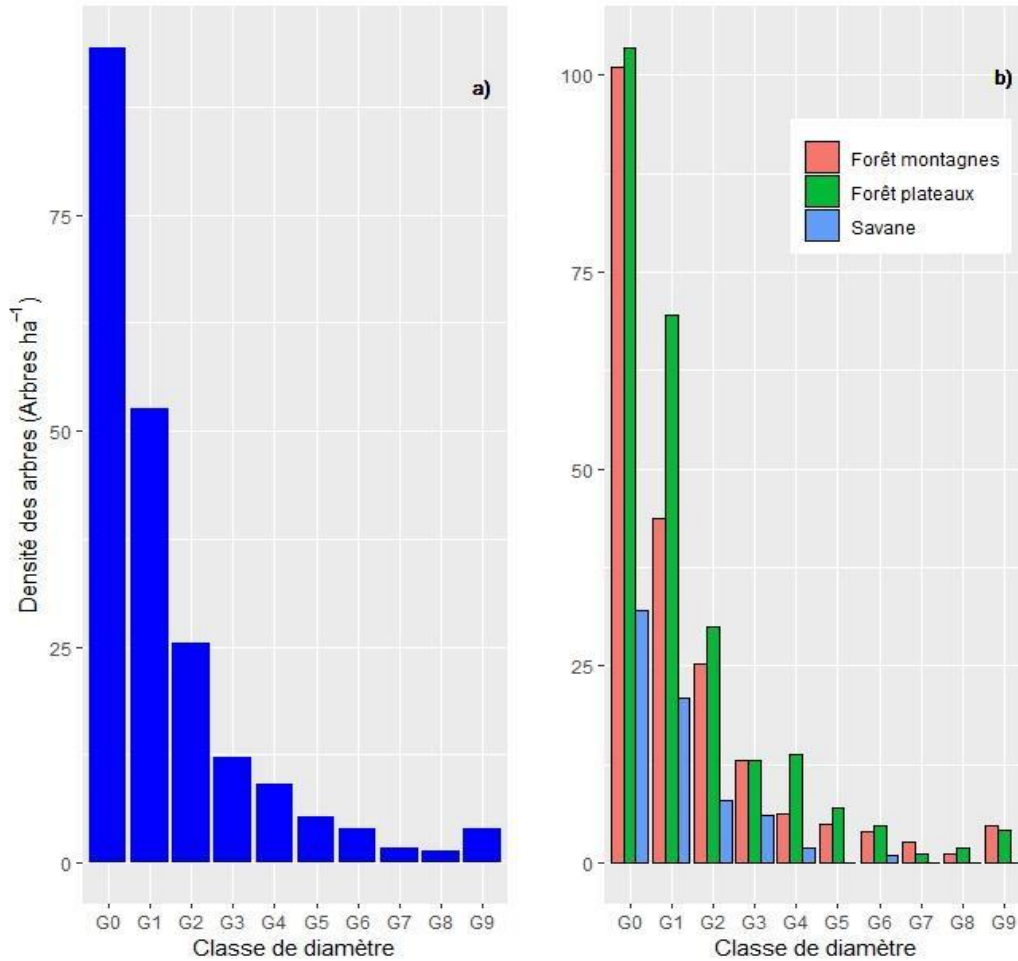


Figure 8 : Densité des arbres en fonction des classes de diamètres dans le site (a) et dans les types de végétation (b).

4.1.3 Composition floristique du peuplement

Dans les neuf (09) parcelles sur le site d’étude, au total 1 894 arbres ont été recensés, répartis en 44 familles et 166 espèces. L’indice de valeur d’importance (IVI), qui est la somme de la densité relative, la dominance relative et la fréquence relative, montre que certaines familles et espèces sont plus importantes que les autres. Le classement par ordre de grandeur de IVI montre que les Caesalpiniaceae sont une famille très importante suivie des Burseraceae et des Olacaceae. Pour les espèces, le *Santiria trimera* présente une importance élevée suivi de *Eurypetalum tessmannii* et *Aucoumea klaineana* (Tableau 5).

Tableau 5 : Les dix familles et espèces ayant un indice de valeur élevé dans le site d'étude

Numéro	Famille	IVI (%)	Espèce	IVI (%)
1	Caesalpiniaceae	49,56	<i>Santiria trimera</i> (Bur.)	16,39
2	Burseraceae	40,43	<i>Eurypetalum tessmannii</i> (Fab.)	15,39
3	Olacaceae	23,50	<i>Aucoumea klaineana</i> (Sap.)	11,44
4	Annonaceae	15,29	<i>Coula edulis</i> (Olac)	11,21
5	Euphorbiaceae	15,07	<i>Dacryodes buettneri</i> (Bur)	9,62
6	Irvingiaceae	14,51	<i>Monopetalanthus</i> sp. (Fab)	8,86
7	Myristicaceae	14,33	<i>Diospyros</i> sp. (Ebe)	7,67
8	Ebenaceae	14,19	<i>Eurypetalum batesii</i> (Fab)	6,75
9	Fabaceae	13,52	<i>Xylopi aethiopica</i> (Ann)	5,54
10	Rubiaceae	9,52	<i>Scyphocephalum mannii</i> (Myr)	5,42

Les dix premières familles ayant des valeurs d'indice de l'importance élevé diffèrent significativement entre les types de végétation ($F=7.627$; $df=16$; $p < 0.001$). La différence observée entre famille est significative en forêt de montagne ($t = 2.497$; $p = 0.025$), la forêt des plateaux ($t = 2.446$; $p = 0.024$) et la savane ($t = 3.591$; $p = 0.002$). La famille des Burseraceae présente une valeur d'indice significativement importante ($t = 2.326$; $p = 0.035$) suivie des Caesalpiniaceae qui présentent un indice marginalement important ($t = 1.839$, $p = 0.087$) par rapport aux autres familles. Suivant les types de végétation, les Burseraceae présentent une importance relative élevée dans la forêt des montagnes et dans la savane ; tandis que dans la forêt des plateaux, ce sont les Caesalpiniaceae qui sont très importantes (Tableau 6).

Au niveau de l'espèce, les valeurs d'indice de l'importance élevé observées ne diffèrent pas significativement entre les types de végétation ($F=2.09$; $df=26$; $p = 0.248$). La différence n'est pas significative entre les espèces en forêt de montagne ($t = 1.535$; $p = 0.199$) et la forêt des plateaux ($t = 1.651$; $p = 0.174$). Par contre elle est marginalement significative entre les espèces dans la zone de savane ($t = 4.504$; $p = 0.079$). Les espèces *Barteria fistulosa* ($t = -2.340$; $p = 0.079$), *Didelotia minutiflora* ($t = -2.235$; $p = 0.089$), *Nauclea latifolia* ($t = -2.228$; $p = 0.089$), *Panda oleosa* ($t = -2.389$; $p = 0.075$), *Pentaclethra eetveldeana* ($t = -2.242$; $p = 0.088$) présentent des indices de valeur statistiquement différents des autres espèces.

Tableau 6 : Les dix familles et espèces ayant un indice de valeur important dans les différents paysages

Type de végétation	Numéro	Famille	IVI (%)	Espèce	IVI (%)
Forêt à Okoumé des montagnes	1	Burseraceae	47,81	<i>Santiria trimera (Bur)</i>	22,99
	2	Caesalpiniaceae	33,76	<i>Coula edulis (Ola)</i>	20,53
	3	Olacaceae	31,73	<i>Eurypetalum batesii</i>	15,42
	4	Fabaceae	21,09	<i>Dacryodes buettneri</i>	12,87
	5	Irvingiaceae	19,6	<i>Monopetalanthus sp.</i>	10,3
	6	Euphorbiaceae	16,87	<i>Sacoglottis gabonensis</i>	7,72
	7	Annonaceae	13,76	<i>Acoumea klaineana</i>	7,38
	8	Myristicaceae	11,5	<i>Centroplacus glaucinus</i>	6,33
	9	Ebenaceae	10,33	<i>Strombosiopsis tetranda</i>	6,29
	10	Humiriaceae	9,68	<i>Augouardia letestui</i>	6,28
Forêt à Okoumé des plateaux	1	Caesalpiniaceae	63,14	<i>Eurypetalum tessmannii</i>	29,11
	2	Burseraceae	32,73	<i>Diospyros sp.</i>	12,84
	3	Ebenaceae	18,48	<i>Santiria trimera</i>	12
	4	Myristicaceae	17,71	<i>Acoumea klaineana</i>	11,86
	5	Olacaceae	17,2	<i>Paraberlinia bifoliolata</i>	9,43
	6	Annonaceae	14,48	<i>Xylopia aethiopica</i>	8,65
	7	Euphorbiaceae	13,59	<i>Monopetalanthus sp.</i>	8,43
	8	Mimosaceae	10,89	<i>Dacryodes buettneri</i>	7,58
	9	Irvingiaceae	10,28	<i>Plagiostyles africana</i>	6,54
	10	Rubiaceae	9,26	<i>Erythroxylum mannii</i>	6,28
Savane	1	Burseraceae	72,32	<i>Acoumea klaineana</i>	68,78
	2	Annonaceae	46,66	<i>Hymenostegia pellegrini</i>	32,82
	3	Rubiaceae	44,5	<i>Isolona sp.</i>	31,1
	4	Caesalpiniaceae	39,39	<i>Crossopteryx febrifuga</i>	25,02
	5	Mimosaceae	18,02	<i>Xylopia aethiopica</i>	17,58
	6	Fabaceae	16,29	<i>Nauclea latifolia</i>	12,89
	7	Passifloraceae	14,33	<i>Didelotia minutiflora</i>	12,75
	8	Pandaceae	13,42	<i>Pentaclethra eetveldeana</i>	12,63
	9	Olacaceae	13,39	<i>Barteria fistulosa</i>	10,79
	10	Euphorbiaceae	10,95	<i>Panda oleosa</i>	9,88

4.1.4 Diversité spécifique

Le site d'étude présente une diversité floristique importante avec le nombre d'espèces qui varie d'une parcelle à l'autre. Les valeurs des indices de diversité montrent une tendance avec des pentes ascendantes. Les indices Alpha oscillent entre 17,12 et 44,35 ; celles de Shannon entre 2,98 et 4,2 et celles de Simpson varient entre 13,22 et 34,83 (Tableau 6). Les valeurs de ces indices, sur la base de 9 parcelles, montrent une forte diversité floristique au sein du Parc National de la Lopé et sa périphérie.

Tableau 7 : Les indices de diversité

Parcelles	Alpha	Shannon	Simpson
Aschouka 336	17,12	2,98	13,22
Dump plot A	25,33	3,52	19,92
Dump plot B	29,81	3,77	24,25
Dump plot C	35,42	3,98	29,05
Lopé 335	37,91	4,04	30,07
Makoghé 334	39,92	4,09	31,75
Mitendi 287	41,61	4,14	33,11
Obiga 285	42,98	4,17	34,24
Obiga 286	44,35	4,2	34,83

4.2 Biomasse estimée dans le Parc National de la Lopé et sa périphérie

4.2.1 Biomasse et quantité de carbone séquestré

La biomasse totale estimée varie d'une parcelle à l'autre dans le Parc National de la Lopé et présente une différence marginalement significative ($F=2.44$; $df=1891$; $p=0.087$). La moyenne est de $349,09 \text{ Mg ha}^{-1}$ et un intervalle de confiance de $282,23 - 415,94 \text{ Mg ha}^{-1}$ (Tableau 7). Les plus fortes valeurs de la biomasse totale sont trouvées dans les parcelles Aschouka 336 ($537,45 \text{ Mg ha}^{-1}$), Lopé 335 ($530,28 \text{ Mg ha}^{-1}$) et Obiga 286 ($457,61 \text{ Mg ha}^{-1}$). L'unique parcelle de la savane présente la plus faible valeur de la biomasse totale ($47,27 \text{ Mg ha}^{-1}$).

Le parc présente un stock moyen de carbone de $164,07 \text{ Mg C ha}^{-1}$. La moyenne du facteur d'émission de carbone du site est estimée à $602,14 \text{ Mg CO}_2\text{eq.ha}^{-1}$.

Par ailleurs, le taux d'incertitude qui est de 10% montre la crédibilité des quantités de carbone estimées.

Tableau 8 : La biomasse, la quantité de carbone et le stock de CO₂ équivalent du site d'étude

Parcelles	Biomasse aérienne (Mg ha ⁻¹)	Biomasse racinaire (Mg ha ⁻¹)	Biomasse totale (Mg ha ⁻¹)	Stock Carbone (Mg C ha ⁻¹)	CO ₂ eq. (Mg ha ⁻¹)
Aschouka 336	433,43	104,02	537,45	252,60	927,05
Dump plot A	252,21	60,53	312,73	146,99	539,44
Dump plot B	313,76	75,30	389,06	182,86	671,09
Dump plot C	197,43	47,38	244,82	115,06	422,28
Lopé 335	427,65	102,64	530,28	249,23	914,68
Makoghé 334	33,76	13,50	47,27	22,21	81,53
Mitendi 287	265,71	63,77	329,48	154,86	568,32
Obiga 285	236,36	56,73	293,09	137,75	505,54
Obiga 286	369,04	88,57	457,61	215,08	789,33
Moyenne	281,04	68,05	349,09	164,07	602,14
Ecart type (SD)	124,87	28,66	153,50	72,15	264,77
Erreur Stand (SE)	41,62	9,55	51,17	24,05	88,26
Int. Conf.	27,19	6,24	33,43	15,71	57,66
Int. Conf. Inférieur	226,65	55,57	282,23	132,65	486,82
Int. Conf. Supérieur	335,42	80,53	415,94	195,49	717,46
Incertitude	10%	9%	10%	10%	10%

Par type de végétation, la densité de carbone dans la forêt des montagnes ne diffère pas significativement de celles de la forêt des plateaux (diff=-0.75 ; $p=0.437$). Par contre, la densité de carbone des parcelles de forêts diffère significativement de celle de la zone de savane ($p=0.029$; Figure 8). Le facteur d'émission des forêts est estimé à 667,22 Mg CO₂eq.ha⁻¹ et celui de la savane à 81,53 Mg CO₂eq.ha⁻¹. Ce qui démontre l'importance de la prise en compte de tous les types de végétation dans l'estimation des facteurs d'émission de carbone.

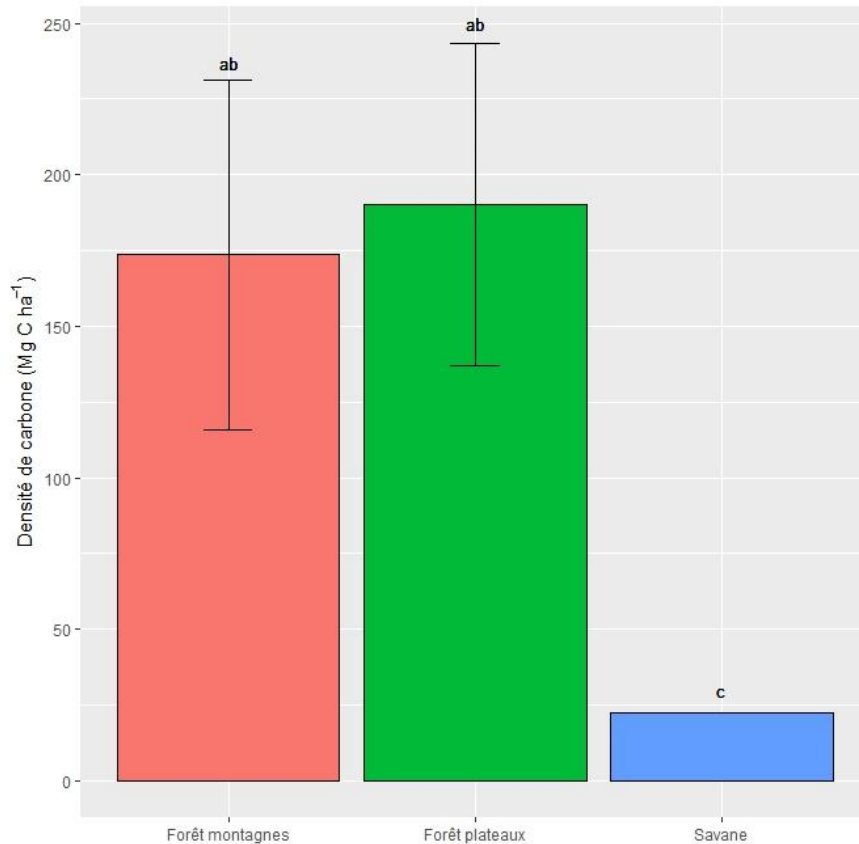


Figure 9 : Densité de carbone en fonction du type de végétation

4.2.1.1 Biomasse des dix familles ayant un indice de valeur important (IVI)

Les dix (10) familles les plus importantes du site présentent une variabilité en termes de biomasse totale (Tableau 7). La famille la plus importante est le Caesalpiniaceae (IVI=49,56) et présente une biomasse totale de 625,92 Mg suivi des Burseraceae (IVI=40,43) avec une biomasse totale de 486,43 Mg. Par contre, les Euphorbiaceae, cinquième famille la plus importante du site (IVI=15), présente une faible biomasse totale (61,52 Mg). Ce qui démontre que malgré leur importance sur le site, les familles contribuent différemment à la biomasse totale du site.

Tableau 9 : Biomasse des dix familles ayant un indice de valeur important dans le parc

Famille	Nombre arbres	Densité (Ind. ha ⁻¹)	BA (m ² ha ⁻¹)	IVI (%)	DBH moyen (cm)	Biomasse totale (Mg)
Annonaceae	112	5,91	8,31	15,29	25,6	87,55
Burseraceae	277	14,63	40,16	40,43	34,3	486,43
Caesalpiniaceae	445	23,50	40,66	49,56	27,9	625,92
Ebenaceae	126	6,65	5,85	14,19	22,5	96,26
Euphorbiaceae	137	7,23	5,33	15,07	19,9	61,52
Fabaceae	57	3,01	11,61	13,52	40,0	240,16
Irvingiaceae	67	3,54	11,42	14,51	38,0	283,15
Myristicaceae	53	2,80	14,69	14,33	50,0	240,29
Olacaceae	152	8,03	20,14	23,50	35,02	438,31
Rubiaceae	65	3,43	2,03	9,56	18,29	22,78

4.2.1.2 Biomasse des dix espèces ayant un indice de valeur important (IVI)

Parmi les espèces qui ont une valeur IVI élevée du site, *Coula edulis* (IVI=11,20) contribue le plus en termes de biomasse. L'espèce ayant la valeur IVI plus élevée (*Santiria trimera* ; IVI=16,39) présente une biomasse totale de 122,16 (Tableau 8). Ce qui montre que malgré l'importance de chacune des espèces, celles-ci contribuent différemment à la biomasse totale du site.

Tableau 10 : Biomasse des dix espèces ayant un indice de valeur important dans le parc

Famille	Espèce	Nbre arbres	Densité (Ind/ha)	BA (m ² ha ⁻¹)	IVI (%)	DBH moyen(cm)	Biomasse totale (Mg)
Burseraceae	<i>Santiria trimera</i>	164	18,22	10,84	16,39	26,25	122,16
Caesalpiniaceae	<i>Eurypetalum tessmannii</i>	183	20,33	9,55	15,39	21,22	132,08
Burseraceae	<i>Aucoumea klaineana</i>	31	3,44	15,90	11,44	67,83	179,51
Olacaceae	<i>Coula edulis</i>	58	6,44	12,16	11,20	43,62	315,82
Burseraceae	<i>Dacryodes buettneri</i>	41	4,56	10,31	9,62	47,16	147,71
Caesalpiniaceae	<i>Monopetalanthus sp.</i>	50	5,56	9,47	8,86	40,87	130,25
Ebenaceae	<i>Diospyros sp.</i>	80	8,89	3,56	7,66	21,98	62,29
Caesalpiniaceae	<i>Eurypetalum batesii</i>	82	9,11	4,17	6,75	23,85	58,99
Annonaceae	<i>Xylopiya aethiopica</i>	32	3,56	4,87	5,53	38,30	53,10
Caesalpiniaceae	<i>Scyphocephalium mannij</i>	17	1,89	7,21	5,42	68,89	105,97

4.2.1.3 Biomasse et carbone en fonction des classes de diamètres

Au niveau des classes de diamètres, la valeur moyenne de la biomasse et du carbone est de 312,86 Mg ha⁻¹ et 147,04 Mg C ha⁻¹. La valeur la plus élevée se retrouve au sein de la classe des individus de diamètres supérieurs à 100 cm (G9) et la plus faible au niveau de la classe G0 (10-20 cm ; Figure 9a). Cette tendance est également valable pour les parcelles des forêts de montagnes et des plateaux ; tandis que la valeur la plus élevée de la zone savane se retrouve

au niveau de la classe G1 (10-20 cm) (Figure 9b). Ces différences de valeurs peuvent se vérifier bien au niveau de chaque parcelle (Annexe 5).

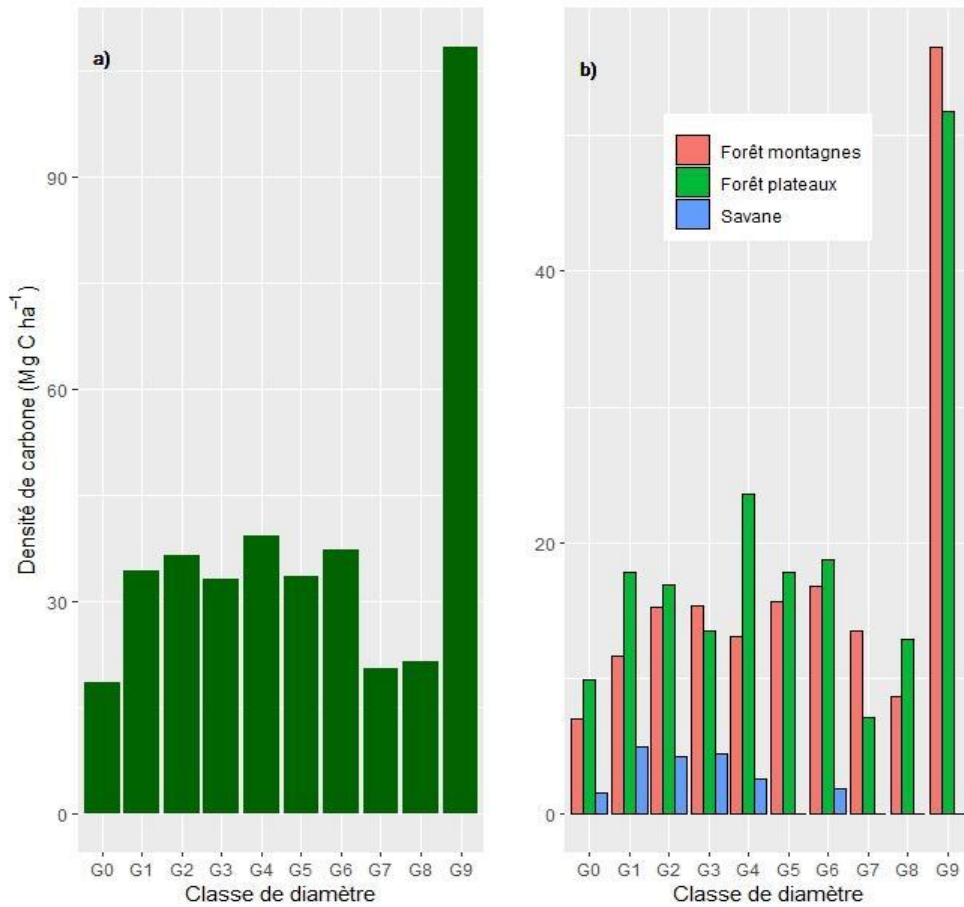


Figure 10 : Densité de carbone en fonction des classes de diamètres

4.2.1.4 Carbone en fonction des paramètres de la végétation et de la diversité floristique

La densité de carbone dépend significativement des paramètres structuraux de la végétation ($F=2\,481$; $df=1\,882$; $p<0,001$). Le diamètre des arbres ($t=-14,623$; $p<0,001$; Figure 10a), la surface terrière ($t=50,947$; $p<0,001$; Figure 10b) et la densité spécifique du bois ($t=15,059$; $p<0,001$; Figure 10c). Cet impact significatif est observé pour les forêts des montagnes ($t=-8,742$; $p<0,001$) et des plateaux ($t=-11,277$; $p<0,001$) mais pas dans la savane ($t=-1,163$; $p=0,245$). De même, la densité de carbone dépend également de la diversité floristique ($F=14,91$; $df = 26$; $p<0,001$). La densité de carbone et le nombre des espèces sont positivement corrélés ($r=0,137$). Ce qui démontre que les parcelles des forêts présentent un fort potentiel de stockage et de séquestration de carbone et donc les estimations doivent tenir compte des paramètres structuraux de la végétation, y compris la diversité floristique.

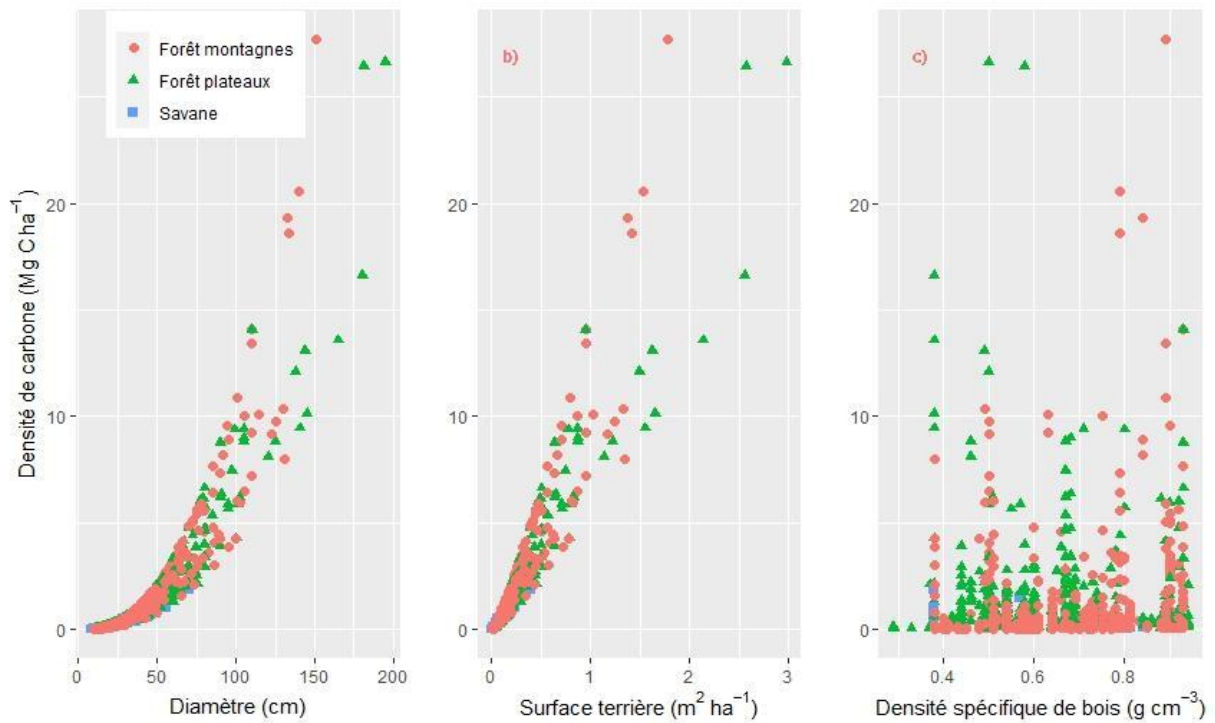


Figure 11 : La densité de carbone en fonction des paramètres structuraux : a) diamètre des arbres, b) surface terrière et c) densité spécifique de bois des 9 parcelles.

4.2.2 Valeur monétaire liée au carbone

Les quantités de carbone estimées dans les différentes parcelles ont été converties en équivalent CO₂, telle que le préconise le marché carbone conformément à lettre d'intention signée entre le Gabon et l'Initiative pour les Forêts d'Afrique Centrale (CAFI) en 2019, le prix utilisé est de 5 dollars américain par tonne de CO₂éq. La quantité de carbone éligible pour paiement est déterminée en appliquant un taux d'ajustement (réduction) de 35% (Tableau 9).

Tableau 11 : Valeur monétaire liée au carbone du site

Type de végétation	Parcelle	Total stock (CO ₂ ha ⁻¹)	Ajustement (35% ; CO ₂ ha ⁻¹)	Eligible stock (CO ₂ ha ⁻¹)
Forêt à okoumé des montagnes	Aschouka 336	927,05	324,47	602,58
	Dump plot A	539,44	188,80	350,63
	Dump plot B	671,09	234,88	436,21
	Dump plot C	422,28	147,80	274,48
	Lopé 335	914,68	320,14	594,54
Savane	Makoghé 334	81,53	28,54	52,97
	Mitendi 287	568,32	198,91	369,41
Forêt à okoumé des plateaux intérieurs	Obiga 285	505,54	176,94	328,60
	Obiga 286	789,33	276,27	513,07
Moyenne		602,14	210,75	391,39

L'application de ces valeurs permet d'estimer la valeur monétaire de carbone stocké dans les parcelles utilisées pour cette étude. La quantité moyenne est estimée à 391,39 (Mg CO₂eq ha⁻¹). La superficie totale du PN Lopé est de 491 291 hectares, ce qui revient à un total de 192 287 143 Mg CO₂eq ha⁻¹. En appliquant le prix de la lettre d'intention (5 US\$/tonne), la valeur monétaire est estimée à 961 435 715 dollars américain, soit 589 582 530 000 XAF³ (presque 600 milliards de francs CFA).

³ <https://www.xe.com/fr/currencyconverter/convert/?Amount=1&From=USD&To=XAF>

Chapitre 5 : Discussion

5.1 Diversité végétale

Les résultats concernant la composition et la diversité de la flore (**IVI**) révèlent que les familles des Caesalpiniaceae ont une importance primordiale dans le parc. Cela peut être attribué à l'abondance notable d'espèces indigènes (*Eurypetalum tessmannii*, *Monopetalanthus sp.*, *Eurypetalum batesii*, *Scyphocephalum mannii*) qui constituent 29,85% de la population d'arbres documentée. De plus, la présence importante d'arbres de ces familles dans le Parc National de la Lopé suggère qu'il a servi de sanctuaire pour les forêts lors des périodes glaciaires précédentes (Maley, 1989 ; Rietkerk, Ketner & De Wilde, 1995 ; Leal, 2009 ; Feldpausch *et al.*, 2011). Ces résultats sont cohérents avec les recherches menées par Reeth (2020) dans le Parc Monte Alen en Guinée Equatoriale, où la famille des Caesalpiniaceae a également montré une dominance au sein de la population.

Les neuf (09) parcelles présentent des similitudes dans la composition et l'abondance des familles ligneuses. Parmi ces familles, celles de Caesalpiniaceae, Burseraceae, Olacaceae, Annonaceae, Euphorbiaceae, Irvingiaceae, Myristicaceae, Ebenaceae, Fabaceae et Rubiaceae se distinguent comme les plus peuplées en nombre d'individus observés dans les parcelles enquêtées. Ce classement des familles reflète les conclusions de Gautam et Pietsch (2012) dans leur étude réalisée au niveau de forêts non perturbées au Gabon.

Les communautés forestières considérées comme riches se caractérisent par une valeur de diversité Shannon d'environ 3,5 ou plus (Kent et Coker, 1992). Les parcelles du Parc National de la Lopé, qui ont toutes des valeurs élevées des indices de Shannon (H0 [3,5 ; Tableau 10) et de Alpha de Fisher et de Simpson, peuvent donc être considérées comme très diverses. Nos résultats corroborent ceux de Gonmadje (2011) issus des recherches menées dans les forêts de plaine de la partie sud-ouest du massif de Ngovayang au Cameroun qui abritent une flore riche et diversifiée. On retrouve des résultats similaires dans les études antérieures (Pitman *et al.* 2002), une telle diversité semble également provenir d'une grande abondance d'espèces rares. Toutes les forêts tropicales abritent de nombreuses espèces rares, qui présentent généralement un risque élevé d'extinction au moins locale (Kenfack *et al.*, 2006).

En examinant la catégorisation des individus en fonction de la classe de diamètre, il devient évident qu'il existe un schéma cohérent indiquant un processus continu de régénération au fil du temps (Rasatatsihoarana, 2007, cité par Adjonou *et al.*, 2010). Ce modèle sert à définir une population ligneuse qui soutient sa propre existence (Fongzossie *et al.*, 2008).

Le modèle global dans les forêts tropicales peut être représenté par une forme en « J inversé », indiquant que la quantité de tiges dans une classe de diamètre particulière est approximativement la moitié de la classe précédente (Stutz de Ortega, 1987 ; Armesto et Fuentes, 1988 ; Kouamé, 1998 ; Fayolle *et al.*, 2014). Cela démontre que, lorsque l'on considère toutes les espèces collectivement, il y a une plus grande abondance de jeunes arbres avec des diamètres plus petits par rapport à ceux avec des diamètres plus grands. La similitude de ce modèle avec les forêts de notre zone d'étude suggère une ressemblance avec la majorité des forêts tropicales africaines dans leur intégralité.

Contrairement à la structure en forme de « J inversé » observée dans toutes les parcelles, Bouko *et al.* (2007) ont découvert un motif en dents de scie dans les forêts ouvertes du Bénin. Et d'après ses auteurs, le nombre limité d'individus dans la classe de diamètre 0-10 cm peut

être attribué à divers facteurs, tels que la sélection induite par l'homme, le manque de régénération naturelle résultant d'une carence en semenciers et la fermeture de la canopée.

5.2 Biomasse et potentiel de stockage du carbone

La présente recherche a utilisé la méthode non destructive pour l'estimation de la biomasse forestière et le stock de carbone à travers des équations allométriques. Cette méthode est la plus utilisée en matière de quantification de la biomasse forestière et du stock de carbone (Bakayoko *et al.*, 2012 ; Moumouni *et al.*, 2017 ; Adamou *et al.*, 2020 ; Adjéran *et al.*, 2020). Elle présente l'avantage d'être rapidement opérationnelle en termes de temps et de coût d'estimation. Cependant, plusieurs auteurs ont souligné que l'utilisation de ces équations allométriques en dehors des sites pour lesquels elles ont été développées pourrait entraîner des biais au niveau des estimations (Chave *et al.*, 2004 ; Molto *et al.*, 2013 ; Loubota Panzou *et al.*, 2016).

La biomasse totale moyenne enregistrée, estimée à 348,49 Mg ha⁻¹, correspond aux densités typiques des forêts tropicales, allant de 152 à 596 Mg ha⁻¹, comme indiqué par diverses études (Brown & Lugo, 1984 ; Brown, Gillespie & Lugo, 1989 ; Brown, Gaston & Daniels, 1996 ; Clark & Clark, 2000 ; Clark *et al.*, 2001 ; FAO, 2007 ; Ramankutty *et al.*, 2007 ; Baccini *et al.*, 2008 ; Hertel *et al.*, 2009 ; Djuikouo *et al.*, 2010). En outre, cette mesure est au-dessus des estimations inférieures pour le Gabon, qui vont de 312 à 333 Mg ha⁻¹, comme indiqué par Maniatis *et al.* (2011). Ceci peut s'expliquer notamment par les méthodes utilisées pour évaluer la biomasse totale qui n'étaient pas aussi performant par rapport à aujourd'hui. Aussi, pour notre étude, nous avons utilisé les équations allométriques récentes, développées spécifiquement pour les forêts tropicales du bassin du Congo.

Parmi les différentes espèces observées dans le milieu d'étude, *Coula edulis* ressort comme la moins abondante. Cependant, sa contribution à la biomasse globale est importante. Cela s'expliquerait par sa densité spécifique arborée (0,9 g m⁻³), propriété physique spécifique à chaque espèce végétale.

Le principal facteur contribuant à l'augmentation de la biomasse totale dans les parcelles Aschouka 336, Lopé 335 et Obiga 286 est l'abondance d'arbres de grands diamètres. Ces parcelles ont enregistré des niveaux de biomasse de 537,45 Mg ha⁻¹, 530,28 Mg ha⁻¹ et 457 Mg ha⁻¹, respectivement. Ces résultats corroborent de recherches précédentes menées par Joosten *et al.* (2004) et Mbow (2009), qui soulignent tous deux le rôle important joué par ces arbres dans les stocks de biomasse. De plus, le nombre important d'arbres présents dans ces parcelles, qui influence fortement les stocks de carbone selon Amougou *et al.* (2016), fournit une preuve supplémentaire des niveaux élevés de carbone observés.

Il est à noter que nos analyses s'alignent sur les résultats de Lewis *et al.* (2013). Les données qu'ils présentent révèlent des estimations de biomasse spécifiques à l'Afrique centrale (429 Mg ha⁻¹), qui est la même région où s'est déroulée notre étude. Ces estimations sont sensiblement plus élevées par rapport à celles de l'Afrique de l'Ouest (305 Mg ha⁻¹) et de l'Afrique de l'Est (274 Mg ha⁻¹). Les écarts de ces estimations peuvent être principalement attribués à des différences dans la composition structurelle des paysages, qui sont influencées par des perturbations anthropiques et/ou des variations de gradients édaphiques et altitudinaux (Loubota, 2018).

La biomasse et la teneur en carbone de la savane sont diminuées en raison de la prédominance d'une végétation ligneuse de petits diamètres. De plus, l'industrie forestière a

tendance à se concentrer sur les grands arbres, ce qui entraîne une réduction significative des réserves de biomasse au fil du temps (Mbow, 2009). La rareté des arbres, comme le notent Amougou *et al.* (2016), est un autre facteur contribuant aux niveaux relativement faibles de carbone dans la savane. Et nous pouvons constater que lors de notre étude, l'abondance du peuplement ligneux dans cette zone savanicole est de 70 individus à l'hectare.

Il est important de ne pas négliger la capacité des arbres de petit diamètre à séquestrer le carbone, car ils servent de futures réserves de carbone. De plus, une fois qu'un arbre a atteint son stade de croissance maximal, il n'a plus la capacité de séquestrer le carbone, car sa photosynthèse et sa respiration atteignent un équilibre (Poulsen *et al.*, 2020).

L'analyse réalisée entre les variables structurales obtenues en fonction du carbone a montré une corrélation positive et forte entre le diamètre des arbres, la surface terrière et la densité de bois. De plus, le carbone stocké dans le parc est en corrélation positive avec le nombre des individus inventoriés.

Il est crucial de reconnaître les contraintes importantes entourant la séquestration du carbone dans les écosystèmes forestiers. Ces limites comprennent la capacité finie et la durée de séquestration, qui est généralement inférieure à 100 ans. En outre, la permanence de la séquestration suscite des inquiétudes, car il existe une possibilité de réversibilité de la dynamique puits-source en cas de changement de politique.

Si la mise en place d'une politique volontariste de séquestration permet de retarder temporairement la montée du CO₂ atmosphérique, elle ne peut se substituer à l'indispensable réduction des émissions.

5.3 Valeur économique

La corrélation positive entre la quantité de CO₂ absorbée et sa valeur monétaire est évidente. La valeur monétaire moyenne par hectare de dioxyde de carbone acquis de notre zone d'étude (1 147 062,9XAF) ne doit pas être sous-estimée, car cette valeur augmente proportionnellement à l'expansion de la superficie. Par conséquent, si un mécanisme effectif de compensation pour les services écosystémiques rendus par le Parc National de la Lopé est mis en place, il pourrait générer des retombées monétaires substantielles, pouvant contribuer à la fois à la préservation du parc et au soutien de la croissance économique locale et nationale.

En effet, planifier la conservation dans une optique de contribution à l'atténuation du changement climatique offre l'opportunité de positionner le Parc National de la Lopé dans un contexte plus large, de montrer son rôle et sa contribution à l'atténuation du changement du climat. C'est une situation « gagnant-gagnant » avec une diversité d'avantages croisés tant écologiques que socioéconomiques, c'est-à-dire protéger la nature et sa biodiversité tout en valorisant durablement les ressources naturelles.

Cependant, la connaissance de ses domaines d'importance tant au niveau national que local est limitée et ceci est due au manque d'information et de sensibilisation. Il a pourtant été plusieurs fois rappelé que l'implication des communautés locales est indispensable dans le processus de gestion durable des aires protégées et autres territoires de conservation (Olatoundji *et al.*, 2021). Les conflits, les pressions anthropiques, le désintérêt de la population résultent en grande partie d'un faible niveau d'information des populations, ou de la faible implication de ces dernières, dans les opportunités qu'offrent ces espaces de protection de la nature, à la fois en termes de gains socio-économiques que de services écosystémiques.

En effet, la plupart des personnes estime que le parc est surtout important pour le tourisme, car permettant d'attirer les étrangers. Néanmoins, outre les paiements pour les frais de visite, la majorité ne perçoit pas l'impact direct que pourrait avoir le tourisme sur l'économie de façon globale, comme les dépenses des touristes au sein de la communauté, contribuant ainsi à l'économie locale.

Des résultats similaires ont été obtenus par Ciocănea *et al.* (2016), qui montrent qu'une très large partie de la population enquêtée autour du Parc Naturel d'Iron Gates, en Roumanie, pense que le parc constitue une opportunité pour le tourisme ; contrairement à quelques-uns qui pensent qu'il n'y en a aucune pour l'économie.

Cependant, Christie *et al.* (2013) affirment qu'avant l'apparition de la pandémie de Covid 19, le secteur du tourisme avait une influence notable sur l'économie de l'Afrique, en particulier de l'Afrique subsaharienne, contribuant à 5,8 % de tous les revenus pétroliers et à 4,5 % des investissements directs étrangers. Cette information est corroborée par Doumenge *et al.* (2021), qui rapportent que les revenus de certains pays africains, dont le Kenya et le Sénégal, sont constitués de 10 à 18 % générés par le tourisme.

Chapitre 6 : Conclusion, perspectives et recommandations

L'importance indéniable des aires protégées, celles forestières notamment, dans la lutte contre le changement climatique est incontestable. Cependant, ces zones elles-mêmes ne sont pas à l'abri des conséquences des changements environnementaux (Madzous *et al.*, 2020). Malgré la reconnaissance mondiale des solutions fondées sur la nature comme cruciales pour relever les défis environnementaux contemporains, l'importance de ces aires protégées n'est pas suffisamment reconnue par les décideurs politiques, les scientifiques et les autres parties prenantes. Du reste, il existe une demande croissante pour le renforcement des systèmes d'aires protégées nationales et transfrontalières.

Le carbone, en plus de nombreuses sources de financement accessibles pour les aires protégées forestières, présente une opportunité pour renforcer les efforts de conservation de la biodiversité. La valeur du stockage du carbone doit être considérée comme un facteur clé dans le maintien des zones protégées existantes et la création de nouvelles.

C'est ainsi que notre étude s'est portée sur l'évaluation du potentiel du PN de la Lopé à séquestrer le carbone. Nous y sommes parvenus en estimant la quantité de biomasse et en l'utilisant pour déterminer à la fois le carbone stocké et sa valeur monétaire correspondante.

Les espèces majeures qui participent à la séquestration du carbone dans cette forêt appartiennent à la famille des Olacaceae (*Coula edulis*), Burceraceae (*Aucoumea Klaineana*) Caesalpiniaceae (*Eurypetalum tessmannii*). L'étude a révélé en outre que les quantités de biomasse et de carbone sont influencées par les paramètres structuraux des végétaux (diamètre de l'arbre, surface terrière et densité de bois) ainsi que la diversité floristique, confirmant ainsi nos hypothèses de recherche.

Les stocks de carbone évalués varient d'une parcelle à l'autre. Les individus de la forêt à Okoumé des montagnes et des plateaux intérieurs renferment beaucoup plus de carbone tandis que ceux de la savane présentent le taux le plus bas.

Les écosystèmes forestiers du PN de la Lopé ont la capacité de séquestrer une quantité notable de CO₂. Cette capacité est actuellement opérationnelle, avec un puits d'environ 1,5 GtC par an. Le potentiel d'augmentation de la séquestration du carbone par des efforts volontaires dans la gestion forestière, le contrôle de la déforestation et l'adoption de l'agriculture de conservation est évident. La séquestration dans la biomasse a la capacité d'atteindre des taux annuels importants, allant de 1 à 10 MgC ha⁻¹an⁻¹, comme l'indiquent Robert et Saugier (2003).

Afin d'assurer le succès de la mise en œuvre de ces nouveaux systèmes ou pratiques culturelles, il est crucial qu'ils soient étroitement liés à d'autres facteurs environnementaux avantageux, tels que la préservation des sols, la promotion de la biodiversité et la lutte contre la désertification. En conséquence, cela présente une excellente illustration de l'interdépendance qui peut être observée entre les trois principaux accords relatifs au changement climatique, à la préservation de la biodiversité et à l'atténuation de la désertification.

Afin d'assurer l'allocation optimale des ressources pour la préservation des forêts, il est essentiel de souligner l'importance des aires protégées forestières dans le discours politique. Il est tout aussi important d'établir un climat de confiance entre les différentes parties concernées, chaque partie prenante possédant une véritable compréhension des avantages

et surtout des connaissances associées aux initiatives de conservation et étant incitée à adopter les modifications requises dans ses pratiques. Le simple fait de fournir une compensation financière aux agriculteurs en échange de leur engagement à réduire la déforestation s'avérera insuffisant si ces agriculteurs ne reconnaissent pas la valeur de l'adoption de techniques agricoles plus écologiquement intensives ou de la plantation d'arbres qui peuvent produire des avantages tangibles dans un avenir prévisible.

De plus, il est crucial d'utiliser les financements au niveau national pour attirer de nouveaux investissements, tout en garantissant que les responsables de la planification et de la gestion des aires protégées disposent de données scientifiques actuelles sur le changement climatique et la biodiversité dans un format facilement accessible et compréhensible.

L'analyse que nous venons de réaliser met en lumière l'impérieuse nécessité de :

- renforcer l'intégration du changement climatique dans la gestion quotidienne du Parc National de la Lopé. Dans cette perspective, il est impératif de prioriser deux actions : premièrement, il est nécessaire de mieux comprendre les conséquences du changement climatique sur le parc, et identifier des stratégies pour atténuer ces impacts. Deuxièmement, il est crucial de fournir une formation adéquate aux gestionnaires du parc, en les dotant des connaissances et des compétences nécessaires pour relever efficacement les défis du changement climatique ;
- renforcer la collaboration avec les communautés riveraines pour améliorer l'efficacité de gestion du PN de la Lopé dans ses dimensions actuelles (promotion des territoires de conservation communautaires par exemple) ;
- augmenter le niveau de protection pour les stocks de carbone dans le parc ; par exemple maintenir les forêts anciennes, éviter la perturbation des sols ou le dessèchement des zones de tourbe et restaurer le parc dans les zones où la végétation a été dégradée ;
- saisir l'opportunité offerte par la finance verte pour renforcer les moyens financiers et techniques du parc et améliorer sa gestion, à l'exemple du Programme CAFI 3. En effet, ce programme a été développé pour respecter l'engagement du Plan National de Développement du Gabon envers la CCNUCC en mettant en œuvre des « solutions naturelles pour le climat » à l'échelle nationale. Ceci peut être réalisé en formulant et en exécutant une stratégie pour exploiter la finance verte à l'appui du parc.

Références bibliographiques

- Adamou S, Amani A, Mahamadou HM, Yaye AD. 2020. Modèle allométrique d'estimation du carbone aérien séquestré par *Balanites aegyptiaca* (L.) Del dans la partie Sud-Ouest du Niger. *Afrique Science*, 16(6) : 188-203.
- Adjéran RW, Lougbegnon TO, Djego GJ. 2020. Estimation de la biomasse aérienne et du carbone des arbres de *Lophira lanceolata* dans la forêt classée de l'Ouémé supérieur au Bénin. *Afrique Science*, 16(5) : 17-31.
- Adjonou K., Djiwa O., Kombate Y., Kokutse A.D. et Kokou K., 2010. Etude de la dynamique spatiale et structure des forêts denses sèches reliques du Togo : implications pour une gestion durable des aires protégées. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 4(1) : 168-183.
- AGEOS. (2016). Bon état du couvert forestier. <https://www.atibt.org/wp-content/uploads/2016/10/AGEOS-Gabon.pdf>
- AGEOS. (2022). Rapport Occupation du Sol du Gabon 2020.
- Amougou JA, Bembong Ebokona LD, Batha RAS, Mala AW, Ngonu H. 2016. Estimation du stock de carbone dans deux unités de terre en zone de savane du Cameroun. *Revue de Géographie, d'Aménagement Régional et du Développement des Suds, Regardsuds*, 2 : 28–45. <https://regardsuds.org/1827-2>
- Amougou N.Y.A., 2011. Séquestration du C dans la forêt communautaire de la COPAL. Mémoire de Master en Biologie et Physiologie Végétales, Univers. de Yaoundé I. 59 p.
- Angelsen, A., Brockhaus, M., Sunderlin, W. D., & Verchot, L. V. (2013). Analyse de la REDD+ Les enjeux et les choix. CIFOR.
- Asare A., Wade S.A., Ofori-Frimpong K., Hadley P. et Norris K., 2010. Carbon storage and the health of cocoa agroforestry ecosystems in south-eastern Ghana. In : *Africa and Carbon Cycle : the CarboAfrica project- 25-27 November 2008, Accra, Ghana.* pp : 131-144.
- Baccini, A., Laporte, N., Goetz, S.J., Sun, M. & Dong, H. (2008) A first map of tropical Africa's above-ground biomass derived from satellite imagery. *Environ. Res. Lett.* 3, 1–9.
- Bakayoko O, Assa AM, Coulibaly B, N'Guessan KA. 2012. Stockage de Carbone dans des peuplements de *Cedrela Odorata* et de *Gmelina Arborea* en Côte d'Ivoire. *European Journal of Scientific Research*, 75(4) : 490-501.
- Bekale, T. G., Nzogho, J. K. N., Mangongo, G. C., Johnson, A. E. D., Ozone, E.-B., Obame, J. C. A., Ella, J., Aguewhet, M. P., Bamoissi, J. E., & Ntougou, C. M. (2021). Rapport national d'inventaire des gaz à effet de serre.
- Boulier, J., et Simon, L. (2010). Les forêts au secours de la planète : quel potentiel de stockage du carbone ? *L'Espace Géographique*, 4 (Tome 39), 309–324. DOI : 10.3917/eg.394.0309
- Brown S., 1997. Estimating biomass and biomass change of tropical forest: a primer. *FAO Forestry paper*, n° 134, Rome, Italy. 55 p
- Brown, S. & Lugo, A.E. (1984) Biomass of tropical forests, a new estimate based on forest volumes. *Science* 223, 1290–1293

- Brown, S., Gaston, G. & Daniels, R.C. (1996) Tropical Africa, land use, biomass, and carbon estimates for 1980. ORNL/CDIAC-92, NDP – 055, pp. 108. ([Ftp://cdiac.ornl.gov/pub10/xml_maggart/pdf/ndp055.pdf](ftp://cdiac.ornl.gov/pub10/xml_maggart/pdf/ndp055.pdf), accessed on May 3, 2011).
- Brown, S., Gillespie, A.J.R. & Lugo, A.E. (1989) Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *For. Sci.* 35, 881–902.
- Campagna, M. (1996). *Le cycle du carbone et la forêt : de la photosynthèse aux produits forestiers*. Ministère des Ressources Naturelles, Québec, Canada, 47 p.
- CCNUCC. (2005). *Préserver le climat. Guide de la Convention sur les changements climatiques et du Protocole de Kyoto*, Bonn, Allemagne, 41 p
- CDB. (1992). *Convention sur la diversité Biologique*. <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-fr.pdf>
- Chave, J., Condit, R., Aguilar, S., Hernandez, A., Lao, S., Perez, R. (2004). Error propagation and scaling for tropical biomass estimates. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* (2004) 359, 409–420. DOI 10.1098/rstb.2003.1425
- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M. S., Delitti, W. B., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P. M., & Goodman, R. C. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. *Global change biology*, 20(10), 3177-3190.
- Ciais, P., Sabine, C., Bala, G., Bopp, L., Brovkin, V., Canadell, J., Chhabra, A., DeFries, R., Galloway, J., & Heimann, M. (2014). Carbon and other biogeochemical cycles. In *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 465-570). Cambridge University Press.
- Ciesla, W. M. (1997). *Le changement climatique, les forêts et l'aménagement forestier : Aspects généraux* (Vol. 126). Food & Agriculture Org.
- CIFOR. (2011). *REDD tout simplement. Guide du CIFOR sur les forêts, le changement climatique et REDD*, Bogor, Indonésie, 16 p.
- CIFOR. (2013). *Forêts et atténuation du changement climatique ; ce que les décideurs doivent savoir*. Factsheet, n°24. Disponible sur le Site [Http://www.cifor.org/publications/pdf_files/factsheet/4171-factsheet.pdf](http://www.cifor.org/publications/pdf_files/factsheet/4171-factsheet.pdf). Consulté le 06/12/2017 à 11h30, 2 p.
- Ciocănea, C. M., C. Sorescu, M. Ianoși et V. Bagrinovschi, 2016, *Assessing public perception on protected areas in Iron Gates Natural Park*, *Procedia Environmental Sciences*, 32 :70-79. DOI : 10.1016/j.proenv.2016.03.013
- Clark, D.B. & Clark, D.A. (2000) Landscape-scale variation in forest structure and biomass in a tropical rainforest. *For. Ecol. Manage.* 137, 185–198.
- Colwell, R. K. 2013. *EstimateS : Statistical estimation of species richness and shared species from samples*. Version 9. Persistent URL <purl.oclc.org/estimates>.
- Conotte, P. G. & G. E. (avec des contributions de R. (2020). 8.2 Indices de biodiversité | *Science des données biologiques 2*. <https://biodatascience-course.sciviews.org/sdd-umons2-2019/>
- Conseil National des Parcs Nationaux. (2006). *Plan de Gestion du Parc National de la Lopé 2006-2010*. https://carpe.umd.edu/sites/default/files/documentsarchive/LS3_MZ3010001_CATMgtPln_06.pdf

- Conseil National du Climat. (2021). Annexe technique REDD+ du BUR révisée du Gabon Résultats obtenus par le Gabon pour les paiements basés sur les résultats REDD+.
- Dalimier, J., Claverie, M., Goffart, B., Jungers, Q., Lamarche, C., De Maet, T., & Defourny, P. (2021). Characterizing the Congo Basin Forests by a Detailed Forest Typology Enriched with Forest Biophysical Variables. 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS, 673-676.
- De Wasseige, C., Flynn, J., Louppe, D., Hiol Hiol, F., & Mayaux, P. (2014). Les forêts du bassin du Congo-Etat des forêts 2013. Weyrich.
- Dimobe, K., Goetze, D., Ouédraogo, A., Forkuor, G., Wala, K., Porembski, S., & Thiombiano, A. (2017). Spatio-temporal dynamics in land use and habitat fragmentation within a protected area dedicated to tourism in a Sudanian savanna of West Africa. *Journal of Landscape Ecology*, 10(1), 75-95.
- Dixon, R. K., Brown, S., Houghton, R. A., Solomon, A. M., Texler, M. C., et Wisniewski, J. (1994). Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, 263, 185–190.
- Doumenge, C., F. Palla, I. Madzous, et G. Ludovic, 2021, Aires protégées d'Afrique centrale–État 2020, Rapport coordonné et édité par le Cirad et l'OFAC-COMIFAC, 402 p. [en ligne] URL : <https://www.observatoire-comifac.net/publications/edap/2020>.
- Dudley, N. (2008). Lignes directrices pour l'application des catégories de gestion aux aires protégées. IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2008.PAPS.2.fr>
- FAO. (2010). Évaluation des ressources forestières mondiales 2010. <https://www.fao.org/3/i1757e/i1757e.pdf>
- Fayolle, A., Ngomanda, A., Mbasi, M., Barbier, N., Bocko, Y., Boyemba, F., Couteron, P., Fonton, N., Kamdem, N., Katembo, J., Kondaoule, H. J., Loumeto, J., Maïdou, H. M., Mankou, G., Mengui, T., Mofack, G. I., Moundounga, C., Moundounga, Q., Nguimbous, L., ... Medjibe, V. P. (2018). A regional allometry for the Congo basin forests based on the largest ever destructive sampling. *Forest Ecology and Management*, 430, 228-240. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.07.030>
- Fayolle, A., Panzou, G. J. L., Drouet, T., Swaine, M. D., Bauwens, S., Vleminckx, J., Biwole, A., Lejeune, P., & Doucet, J.-L. (2016). Taller trees, denser stands and greater biomass in semi-deciduous than in evergreen lowland central African forests. *Forest Ecology and Management*, 374, 42-50.
- Fayolle, A., Picard, N., Doucet, J.-L., Swaine, M., Bayol, N., Bénédet, F., Gourlet-Fleury, S., 2014. A new insight in the structure, composition and functioning of central African moist forests. *Forest Ecology and Management* 329, 195–205. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.06.014>.
- Feldpausch, T. R., Lloyd, J., Lewis, S. L., Brienen, R. J., Gloor, M., Monteagudo Mendoza, A., Lopez-Gonzalez, G., Banin, L., Abu Salim, K., & Affum-Baffoe, K. (2012). Tree height integrated into pantropical forest biomass estimates. *Biogeosciences*, 9(8), 3381-3403.
- Feldpausch, T.R., Banin, L., Phillips, O.L., Baker, T.R., Lewis, S.L., Quesada, C.A., Affum-Baffoe, K., Arets, E.J.M.M., Berry, N.J., Bird, M., Brondizio, E.S., De Camargo, P., Chave, J., Djagblety, G., Domingues, T.F., Drescher, M., Fearnside, P.M., Franca, M.B., Fyllas, N.M., Lopez-Gonzalez, G., Hladik, A., Higuchi, N., Hunter, M.O., Iida, Y., Salim, K.A., Kassim, A.R., Keller, M., Kemp, J.,

- King, D.A., Lovett, J.C., Marimon, B.S., Marimon-Junior, B.H., Lenza, E., Marshall, A.R., Metcalfe, D.J., Mitchard, E.T.A., Moran, E.F., Nelson, B.W., Nilus, R., Nogueira, E.M., Palace, M., Patino, S., Peh, K.S.H., Raventos, M.T., Reitsma, J.M., Saiz, G., Schrodt, F., Sonke, B., Taedoumg, H.E., Tan, S., White, L., Wooll, H. & Lloyd, J. (2011) Heightdiameter allometry of tropical forest trees. *Biogeosciences* 8, 1081–1106.
- Fongzossie F.E., Tsabang N., Nkongmeneck B.A., Nguenpnang G.M., Auxel P., Christiana E., Kamou E., Balouma J.M., Apolo P., Mathieu H., Valbuena M. et Valère M., 2008. Les peuplements du sanctuaire à gorilles de Mengamé au Sud Cameroun. *Tropical conservation sciences* 1 (3) : 204-221.
- Gbozé, Kassi, E. N. J., & N'Dja. (2017). Analyse De La Diversité Floristique De La Forêt Classée D'Agbo I (Côte d'Ivoire).
- GIEC (Éd.). (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*
- GIEC, *Changement climatique et terres : Un rapport spécial du GIEC sur le changement climatique, la désertification, la dégradation des terres, la gestion durable des terres, la sécurité alimentaire et les flux de gaz à effet de serre dans les écosystèmes terrestres (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2019).*
- GIEC. (2001). Falsification de l'histoire climatique pour « prouver » le réchauffement global.
- GIEC. (2003). *Recommandations du GIEC en matière de bonnes pratiques pour le secteur de l'utilisation des terres, changements d'affectation des terres et foresterie.* IGES, Kanagawa, Japon, 25 p.
- GIEC. (2006). *Lignes directrices du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre ; agriculture, foresterie et autres affectations des terres.* Institute for Global Environmental Strategies, vol.4, Japon, 93 p.
- Gonmadje, C.F., Doumenge, C., McKey, D., Tchouto, G.P., Sunderland, T.C., Balinga, M.P., Sonké, B., 2011. Tree diversity and conservation value of Ngovayang's lowland forests, Cameroon. *Biodiversity and conservation* 20, 2627–2648.
- Guesnerie, R. (2003). *Kyoto et l'économie de l'effet de serre. Rapport n°39 du Conseil d'Analyse Economique (CAE), Paris, France, 266 p.*
- Hosonuma, N., Herold, M., De Sy, V., De Fries, R. S., Brockhaus, M., Verchot, L., Angelsen, A., & Romijn, E. (2012). An assessment of deforestation and forest degradation drivers in developing countries. *Environmental Research Letters*, 7(4), 044009.
- IFDD. (2016). Note de décryptage de l'Accord de Paris. https://www.ifdd.francophonie.org/wp-content/uploads/2021/09/685_Note_Decryptage_Accord_de_Paris-2.pdf
- Ifo, A. S., Gomat, H. Y., Mampouya Wenina, Y. E., Lokegna, D. L., Minkala Nzonzi, O. R., Apendi Ngala, G. C., Henry, M., Boundzanga, G. C., Jourdain, C., Picard, N., & Loumeto, J. J. (2018). Carbon stocks and tree allometries in the savannahs of the Plateau Batéké, Central Africa. *Forest Ecology and Management*, 427, 86-95. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.05.065>
- Ilboudo, D. (2018). *Evaluation de la biomasse et du potentiel de séquestration de carbone par les petites formations forestières des savanes en zone soudanienne du Burkina Faso : Cas du site de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts (ENEF).*

- IPCC. (2007). Changements climatiques 2007.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_fr.pdf
- IUCN Papaco. (2015). METT-Gabon_Parc-National-de-la-Lope. https://papaco.org/wp-content/uploads/2015/09/METT-Gabon_Parc-National-de-la-Lope.pdf
- Jean-Pierre, W., & Philippe, C. (2021). Rôle des forêts dans le bilan de carbone de la planète _ Planet-Vie.pdf. Creative Commons - Attribution - Pas d'utilisation commerciale.
<https://planet-vie.ens.fr/thematiques/ecologie/cycles-biogeochimiques/role-des-forets-dans-le-bilan-de-carbone-de-la-planete>
- Joosten R, Schumacher J, Wirth C, Schulte A. 2004. Evaluating tree carbon predictions for beech (*Fagus sylvatica* L.) in Western Germany. *Forest Ecology and Management*, 189 (1-3) : 87–96.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.07.037>
- Kokou, K., 1998, Les mosaïques forestières au sud du Togo : biodiversité, dynamique et activités humaines, Thèse de doctorat, Université de Montpellier II, France, 140 p.
- Leal, M.E. (2009) The past protecting the future. *Int. J. Clim.Change Strat. Manage.* 1, 92–99.
- Lee JT, W., Kathryn, J., Danae, M., Justine, H., & Vincent, M. (2021). Niveau de référence forestier national REDD+/Gabon.
- Lewis, S. L., Lopez-Gonzalez, G., Sonké, B., Affum-Baffoe, K., Baker, T. R., Ojo, L. O., Phillips, O. L., Reitsma, J. M., White, L., Comiskey, J. A., Djuikouo, M. N. K., Ewango, C. E. N., Feldpausch, T.R., Hamilton, A. C., Gloor, M., Hart, T., Hladik, A., Lloyd, J., Lovett, J.C., Makana, J. R., Malhi, Y., Mbago, F. M., Ndongalasi, H. J., Peacock, J., Peh, K. S.-H., Sheil, D., Sunderland, T., Swaine, M.D., Taplin, J., Taylor, D., Thomas, S.C., Votere, R., Wöll, H., 2009. Increasing carbon storage in intact African tropical forests. *Nature* 457, 1003-1007.
- Loubota Panzou GJ, Doucet JL, Loumeto JJ, Biwole A, Bauwens S, Fayolle A. 2016. Biomasse et stocks de carbone des forêts tropicales africaines (synthèse bibliographique). *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 20(4) : 508-522.
- Maley, J. (1989) Late Quaternary climatic changes in the African rainforest: the question of forest refuges and the major role of sea surface temperature variations. *Paleoclimatology and Paleometeorology: modern and past patterns of global atmospheric transport*. NATO Adv. Sci. Inst.Ser. C Math. Phys. Sci. 282, 585–616.
- Mawdsley, J. R., O'MALLEY, R., & Ojima, D. S. (2009). A review of climate-change adaptation strategies for wildlife management and biodiversity conservation. *Conservation Biology*, 23(5), 1080-1089.
- Medjibe, V. P. (2023). Protocole de terrain pour l'installation et la mesure des parcelles permanentes pour le carbone.
- Megevand, C. (2013). Dynamiques de déforestation dans le bassin du Congo : Réconcilier la croissance économique et la protection de la forêt. The World Bank.
<https://doi.org/10.1596/978-0-8213-9827-2>
- Mille G, Louppe D. 2015. Mémento du Forestier Tropical. Editions QUÆ. Versailles, France ; 1200p.
- Mitchard, E. T. A., Saatchi, S. S., White, L. J. T., Abernethy, K. A., Jeffery, K. J., Lewis, S. L., Collins, M., Lefsky, M. A., Leal, M. E., Woodhouse, I. H., & Meir, P. (2012). Mapping tropical forest biomass with radar and spaceborne LiDAR in Lopé National Park, Gabon: Overcoming

problems of high biomass and persistent cloud. *Biogeosciences*, 9(1), 179-191.
<https://doi.org/10.5194/bg-9-179-2012>

- Molto Q, Rossi V, Blanc L. 2013. Error propagation in biomass estimation in tropical forests. *Methods in Ecology and Evolution*, 4(2): 175-183.
- Moumouni YI, Arouna O, Issaka NT, Imorou IT, Zakari S, & Djaouga M. 2017. Estimation de la variabilité de la biomasse aérienne ligneuse en forêt tropicale sèche : cas de la forêt classée de Wari-Marou au Centre-Bénin. *Revue de Géographie du Laboratoire Leïdi*, 17 : 38-56.
- Oke D.O. et Odebiyi K.A., 2007. Traditional cocoa-based agroforestry and forest species conservation in Ondo State, Nigeria. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 122 : 305-311.
- Olatoundji, Y. A., Ouattara, D., Konan, Y., & Ohouko, J. (2021). Perception des populations sur le rôle des aires protégées dans leur résilience face au changement climatique : Cas du Parc National de la Marahoué (Centre-Ouest, Côte d'Ivoire). *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Volume 21 numéro 2, Article Volume 21 numéro 2.
<https://doi.org/10.4000/vertigo.32563>
- Olivero, J. (2019). *Entreprises et management environnemental. Pratiques de gestion dans les établissements à risques réglementés situés sur le littoral français.*
- Olivier, J. G., Schure, K.M, & Peter. (2020). Forêt tropicale : Les faits et les chiffres. *Fair&Precious*.
<https://www.fair-and-precious.org/fr/news/349/foret-tropicale-les-faits-et-les-chiffres>
- Ollat, N., & Kremer, A. (2019). Chapitre 5 : Agriculture et forêts. In H. Le Treut (Éd.), *Les impacts du changement climatique en Aquitaine* (p. 107-154). Presses Universitaires de Bordeaux.
<https://doi.org/10.4000/books.pub.642>.
- Ouedraogo, W. O., Gomgnimbou, A. P. K., Santi, S., Ilboudo, D., & Toguyeni, A. (2020). Quantification de la Biomasse et stockage du carbone du massif forestier de l'École Nationale des Eaux et Forêts de Dindéresso province du Houet au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(7), 3276-3288. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v13i7.24>
- Parmentier, I., Malhi, Y., Senterre, B., Whittaker, R.J., Alonso, A., Balinga, M.P.B., Bakayoko, A., Bongers, F., Chatelain, C., Comiskey, J.A., 2007. The odd man out? Might climate explain the lower tree-diversity of African rain forests relative to Amazonian rain forests? *J. Ecol.* 95, 1058–1071.
- Pendrill, F., Persson, U. M., Godar, J., & Kastner, T. (2019). Deforestation displaced: Trade in forest-risk commodities and the prospects for a global forest transition. *Environmental Research Letters*, 14(5), 055003.
- PJ Sellers, DS Schimel, B. Moore, J. Liu, A. Eldering, Observation des rétroactions du cycle du carbone et du climat depuis l'espace. *Proc. Natl. Acad. Sci. États-Unis* 115, 7860–7868 (2018).
- Poulsen, J. R., Medjibe, V. P., White, L. J. T., Miao, Z., Banak-Ngok, L., Beirne, C., Clark, C. J., Cuni-Sanchez, A., Disney, M., Doucet, J., Lee, M. E., Lewis, S. L., Mitchard, E., Nuñez, C. L., Reitsma, J., Saatchi, S., & Scott, C. T. (2020). Old growth Afrotropical forests critical for maintaining forest carbon. *Global Ecology and Biogeography*, 29(10), 1785-1798.
<https://doi.org/10.1111/geb.13150>.
- Rasatatsihoarana, H. T. F., 2007, Reconnaissances écologiques des aires forestières dans le Menabe sud en vue d'une délimitation de nouvelles aires protégées, Rapport final de l'Atelier de Joachim (5 septembre 2007).

- Reeth, L. V. (2020). BIODIVERSITÉ VÉGÉTALE DES LIGNEUX SUR LE TRANSECT DE MOSUMO DANS LE PARC DE MONTE ALEN.
- Rietkerk, M., Ketner, P. & De Wilde, J.J.F.E. (1995) Caesalpinioideae and the study of forest refuges in Gabon: preliminary results. *Bull. Mus. Nat., Paris 4e Sé r. 17, sec B, Adansonia 1-2*, 95–105.
- Robert, M., & Saugier, B. (2003). Contribution des écosystèmes continentaux à la séquestration du carbone. *Comptes Rendus Geoscience*, 335(6-7), 577-595. [https://doi.org/10.1016/S1631-0713\(03\)00094-4](https://doi.org/10.1016/S1631-0713(03)00094-4).
- Saatchi, S. S., Harris, N. L., Brown, S., Lefsky, M., Mitchard, E. T., Salas, W., Zutta, B. R., Buermann, W., Lewis, S. L., & Hagen, S. (2011). Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. *Proceedings of the national academy of sciences*, 108(24), 9899-9904.
- Saradoum, G., Félicité Temgoua, L., Mbaikambeye, M. O., Tedou, F. B. S., & Behimnan, A. (2022). Estimation du potentiel de séquestration de carbone des aires protégées : Cas de la Forêt Classée de Djoli-Kera, Tchad. *Vertigo*. <https://doi.org/10.4000/vertigo.34658>
- Seeberg-Elverfeldt, C. (2010). Carbon Finance Possibilities for Agriculture, Forestry and Other Land Use Projects in a Smallholder Context.
- Slik, J.W.F., Arroyo-Rodríguez, V., Aiba, S.-I., Alvarez-Loayza, P., Alves, L.F., Ashton, P., Balvanera, P., Bastian, M.L., Bellingham, P.J., Berg, E. van den, Bernacci, L., Bispo, P. da C., Blanc, L., Böhning-Gaese, K., Boeckx, P., Bongers, F., Boyle, B., Bradford, M., Brearley, F.Q., Hockemba, M.B.-N., Bunyavejchewin, S., Matos, D.C.L., Castillo-Santiago, M., Catharino, E.L.M., Chai, S.-L., Chen, Y., Colwell, R.K., Robin, C.L., Clark, C., Clark, D.B., Clark, D.A., Culmsee, H., Damas, K., Dattaraja, H.S., Dauby, G., Davidar, P., DeWalt, S.J., Doucet, J.-L., Duque, A., Durigan, G., Eichhorn, K.A.O., Eisenlohr, P.V., Eler, E., Ewango, C., Farwig, N., Feeley, K.J., Ferreira, L., Field, R., Filho, A.T. de O., Fletcher, C., Forshed, O., Franco, G., Fredriksson, G., Gillespie, T., Gillet, J.-F., Amarnath, G., Griffith, D.M., Grogan, J., Gunatilleke, N., Harris, D., Harrison, R., Hector, A., Homeier, J., Imai, N., Itoh, A., Jansen, P.A., Joly, C.A., Jong, B.H.J. de, Kartawinata, K., Kearsley, E., Kelly, D.L., Kenfack, D., Kessler, M., Kitayama, K., Kooyman, R., Larney, E., Laumonier, Y., Laurance, S., Laurance, W.F., Lawes, M.J., Amaral, I.L. do, Letcher, S.G., Lindsell, J., Lu, X., Mansor, A., Marjokorpi, A., Martin, E.H., Meilby, H., Melo, F.P.L., Metcalfe, D.J., Medjibe, V.P., Metzger, J.P., Millet, J., Mohandass, D., Montero, J.C., Valeriano, M. de M., Mugerwa, B., Nagamasu, H., Nilus, R., Ochoa-Gaona, S., Onrizal, Page, N., Parolin, P., Parren, M., Parthasarathy, N., Paudel, E., Permana, A., Piedade, M.T.F., Pitman, N.C.A., Poorter, L., Poulsen, A.D., Poulsen, J., Powers, J., Prasad, R.C., Puyravaud, J.-P., Razafimahaimodison, J.-C., Reitsma, J., Santos, J.R. dos, Spironello, W.R., Romero-Saltos, H., Rovero, F., Rozak, A.H., Ruokolainen, K., Rutishauser, E., Saiter, F., Saner, P., Santos, B.A., Santos, F., Sarker, S.K., Satdichanh, M., Schmitt, C.B., Schöngart, J., Schulze, M., Suganuma, M.S., Sheil, D., Pinheiro, E. da S., Sist, P., Stevart, T., Sukumar, R., Sun, I.-F., Sunderand, T., Suresh, H.S., Suzuki, E., Tabarelli, M., Tang, J., Targhetta, N., Theilade, I., Thomas, D.W., Tchouto, P., Hurtado, J., Valencia, R., Valkenburg, J.L.C.H. van, Do, T.V., Vasquez, R., Verbeeck, H., Adekunle, V., Vieira, S.A., Webb, C.O., Whitfeld, T., Wich, S.A., Williams, J., Wittmann, F., Wöll, H., Yang, X., Yao, C.Y.A., Yap, S.L., Yoneda, T., Zahawi, R.A., Zakaria, R., Zang, R., Assis, R.L. de, Luize, B.G., Venticinque, E.M., 2015. An estimate of the number of tropical tree species. *PNAS* 201423147. <https://doi.org/10.1073/pnas.1423147112>.

- Taiz, L., et Zeiger, E. (2006). *Plant Physiology*. Fourth Edition. Sinauer Associates, Inc., Publishers, Sunderland, Massachusetts, 764 p.
- Tsayem Demaze, M. (2010). Éviter ou réduire la déforestation pour atténuer le changement climatique : Le pari de la REDD. *Annales de géographie*, 674(4), 338-358. <https://doi.org/10.3917/ag.674.0338>
- Tsoumou B., R., Lumandé K., J., Kampé J., P., & Nzila J., D. (2016). Estimation De La Quantité De Carbone Séquestré Par La Forêt Modèle De Dimonika (Sud-Ouest De La République Du Congo). <https://doi.org/10.5281/ZENODO.48399>
- Van der Werf, G., Morton, D.C., DeFries, R.S., Olivier, J.G.J., Kasibhatla, P.S., Jackson, R.B., Collatz, G., Randerson, J., 2009. CO2 emissions from forest loss. *Nature Geoscience* 2, 737–738.
- Vancutsem, C., Achard, F., Pekel, J.-F., Vieilledent, G., Carboni, S., Simonetti, D., Gallego, J., Aragao, L.E., Nasi, R., 2021. Long-term (1990–2019) monitoring of forest cover changes in the humid tropics. *Science Advances* 7, eabe1603.
- Vande weghe, J., Christy, P., Ducrocq, M., Lee, M., Vande Weghe, G., & Pauwels, O. (2016). Biodiversité des parcs nationaux et réserves du Gabon. 2. Espèces, écosystèmes et populations.
- Victory Nfoumou Obame, M'Voubou, M., Sebag, D., Oslisly, R., Bremond, L., Mounguengui, M. M., & Giresse, P. (2016). Le rôle de l'évolution des paysages holocènes dans le comblement des bas-fonds du Parc national de la Lopé, moyenne vallée de l'Ogooué au Gabon. *LE POINT SUR*.
- White, J. D., Running, S. W., Nemani, R., Keane, R. E., & Ryan, K. C. (1997). Measurement and remote sensing of LAI in Rocky Mountain montane ecosystems. *Canadian Journal of Forest Research*, 27(11), 1714-1727.
- White, L., & Abernathy, K. (1996). Guide de la végétation de la Réserve de la Lopé (Gabon).
- Zanne, A.E., Lopez-Gonzalez, G., Coomes, D.A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S.L., Miller, R.B., Swenson, N.G., Wiemann, M.C., and Chave, J. 2009. Global wood density database. Dryad. Identifier : <http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>.

Listes des illustrations

Figure 1 : Présentation de la zone d'étude	15
Figure 2 : Emplacement des sites d'installation des parcelles dans une grille de 50 km x 50 km (source : IRN, 2013)	19
Figure 3 : Représentation schématique d'une parcelle, présentant les orientations à savoir pour l'inventaire et la cartographie (x et y) des arbres à l'échelle de ladite parcelle (source : Protocole IRN, 2022)	20
Figure 4 : Point de mesure du diamètre des arbres (source : Protocole IRN, 2022)	22
Figure 5 : Points de mesure du diamètre des arbres dans la zone savane (source : Protocole IRN, 2022)	23
Figure 6 : Mesure de la hauteur de l'arbre avec l'Hypsomètre Laser	24
Figure 7 : Prélèvements de spécimens d'herbier	25

Figure 8 : Densité des arbres en fonction des classes de diamètres dans le site (a) et dans les types de végétation (b).	30
Figure 9 : Densité de carbone en fonction du type de végétation	33
Figure 10 : Densité de carbone en fonction des classes de diamètres	35
Figure 11 : La densité de carbone en fonction des paramètres structuraux : a) diamètre des arbres, b) surface terrière et c) densité spécifique de bois des 9 parcelles.	36

Listes des tableaux

Tableau 1: Réservoirs de carbone dans les formations forestières (source : GIEC, 2003)	11
Tableau 2 : Stock de carbone des écosystèmes forestiers (Source : Amthor et Baldocchi (2001) dans (Ilboudo, 2018))	12
Tableau 3 : Données démographiques et activités économiques des villages périphériques du parc (source : Plan d'aménagement de la Réserve de Faune de la Lopé-Okanda (Déclaration de Mokeko) 2002	18
Tableau 4 : Caractéristiques des parcelles sur le site d'étude	30
Tableau 5 : Les dix familles et espèces ayant un indice de valeur élevé dans le site d'étude.	32
Tableau 6 : Les dix familles et espèces ayant un indice de valeur important dans les différents paysages	33
Tableau 7 : Les indices de diversité	34
Tableau 8 : La biomasse, la quantité de carbone et le stock de CO ₂ équivalent du site d'étude	35
Tableau 9 : Biomasse des dix familles ayant un indice de valeur important dans le parc	37
Tableau 10 : Biomasse des dix espèces ayant un indice de valeur important dans le parc	37
Tableau 11 : Valeur monétaire liée au carbone du site	39

Glossaire

Biomasse : masse totale des êtres vivants sur une surface donnée.

Canopée : étage sommital de la forêt tropicale humide.

Forêt ancienne : forêt non perturbée sans perturbation humaine récente ou sans conséquence.

Forêt dégradée : forêt qui est dégradée par des activités autres que l'exploitation forestière sélective mais qui n'entraîne pas de changement permanent dans l'utilisation des terres, comme par exemple l'agriculture itinérante.

Forêt secondaire ancienne : forêt qui a repoussé sur un terrain totalement ou presque totalement débarrassé de sa végétation forestière d'origine, et qui a entre 20 et 100 ans,

Forêt secondaire jeune : forêt qui a repoussé sur un terrain totalement ou presque totalement débarrassé de sa végétation forestière d'origine, et qui n'a pas plus de 20 ans.

Peuplement : groupe d'arbres sur une surface donnée.

Annexes

Annexe 1 : Fiche des métadonnées

Fiche de terrain « Métadonnées »

Note : Replissez toutes les lignes.

Numéro de la placette : _____

Nom de la placette _____

Province, Pays _____

Chef d'équipe de l'inventaire _____

Botaniste(s) _____

Assistants _____

Nom (s) et Contact (s) Assist. Locaux _____

Village : _____

Nombre de jours voyage en voiture ; Aller : _____ Retour : _____

Nombre de jours de voyage à pied ; Aller : _____ Retour : _____

Autre moyen de voyage et nombre de jours ; Aller : _____ Retour : _____

Contact Administratif : _____

Autre information: _____

Description de la placette (description écrite) : _____

Comment retrouver la placette (villages, pistes, marécages, etc.). Dessiner une carte si possible.

Classification de la végétation (encercler une classe pour chaque lettre)

- a forêt, transitionnelle, savane
- b primaire, exploitée, secondaire jeune, secondaire vieille (voir définition)
- c vert, semi-décidue, décidue
- d rarement inondée, inondée saisonnièrement, marécage, terre ferme, montagne, savane

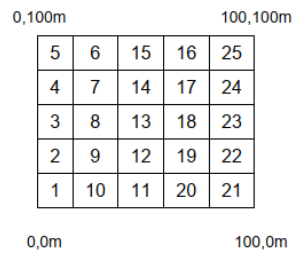
Perturbation naturelle (encercler une classe pour chaque lettre)

- a chute d'arbre : rien, mineur (arbre tueur < 40 cm), majeur (arbre tueur > 40 cm)
- b feu : rien, en surface, en surface et sur les arbres
- c éléphant : pas d'indice, ancienne pistes mais pas d'activité, pistes actives avec crottes et/ou arbres endommagés
- d commentaires pour autres perturbations :

Perturbation anthropogénique		OUI	NON
a	Indices de chasse		
b	Récolte de produits forestiers non ligneux		
c	Pistes (homme)		
d	Pistes (véhicules)		
e	Arbres < 10 cm coupés		
f	Arbres ≥ 10 cm coupés		
g	Autres commentaires		

Projet IRN/ANPN

Note : dispositif standard des placettes, avec 250 m entres les limites des placettes. Modifier le dessin si nécessaire.



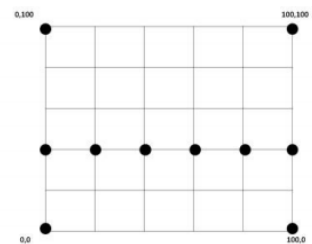
Orientation de la placette

Cap

Altitude

Coordonnées GPS de la Placette Principale

Point	Latitude	Longitude	Précision (+/- m)
0, 0			
0, 100			
100, 0			
100, 100			
0, 40			
20, 40			
40, 40			
60, 40			
80, 40			
100, 40			



Classification de la perturbation

Événement dans la concession		OUI	NON
a	Concession/ Non exploitée		
b	Exploitée/Récent (moins de 10 ans)		
c	Exploitée/Moyen (entre 11 et 30 ans)		
d	Exploitée/Vieux (plus de 30 ans)		

Traces d'exploitation forestière

Signes d'exploitation		OUI	NON
a	Route d'exploitation		
b	Présence des bretelles		
c	Présence des pistes de débardage		
d	Présence des souches		
e	Présence des trouées d'abattage		
f	Autres signes d'exploitation		

Commentaires et/ou Carte :

Annexe 3 : Fiche de collecte des données des échantillons botaniques

Fiche Echantillons Botaniques

Date :	
Province :	
Ville :	
Village :	
Parcelle :	
Coordonnées GPS :	
Comment retrouver la parcelle :	
Famille :	
Genre :	
Espèce :	
Numéro de l'Arbre :	
Nom de l'arbre utilisé sur le terrain :	
Description de l'habitat :	
Description de l'arbre :	
Nom du collecteur :	
Nom déterminé par :	

Annexe 3.1 Code d'évaluation de l'état de vie des arbres et les techniques de mesure du diamètre (Extrait de la méthodologie RAINFOR)

Code	TITRE 1 : ETAT DE VIE (Si l'arbre est mort, écrivez « 0 »)
a=	Vivant normal, devrait être utilisé seul sauf si un arbre est une recrue (n) ou à tiges multiples (h).
b=	Vivant, tige cassée/sommet et ré-germination, ou au moins phloème vivant/xylème vivant. Ecrivez dans la colonne de commentaires à quelle hauteur la tige est cassée.
c=	Vivant, penché de $\geq 10\%$. Le code d'appartenance ne peut pas être utilisé avec le code tombé 'd'.
d=	Vivant, tombé (par exemple sur le sol)
e=	Vivant, arbre cannelé ou/fenestré
f=	Vivant, creux
g=	Vivant, pourri
h=	Individu à tige multiple. Chaque tige > 99mm reçoit un numéro. Devrait être utilisé avec un autre code - par exemple si un arbre est cassé et avec plusieurs tiges, utilisez 'bh'.
i=	Vivant, pas de feuilles, peu de feuilles
j=	Vivant, brûlé
k=	Vivant, écrasé <1,3 m (donc le diamètre à 1,3 m est 0 mm)
l=	Vivant, a une liane de diamètre ≥ 10 cm sur la tige ou dans la canopée

m=	Couvert de lianes. À utiliser lorsque la canopée est couverte à au moins 50% par des lianes, même si aucune liane n'atteint 10 cm de diamètre.
n=	Nouvelle recrue. Toujours utiliser avec un autre code, par exemple si un arbre est normal et nouveau, utilisez le code 'an', si un arbre est cassé et est une nouvelle recrue le code est 'bn'.
o=	Dégâts de foudre
p=	Coupé/abattu
q=	Écorce enlevée (écorce lâche/écaillée)
s=	A un étrangleur
z=	Vivant, productivité en déclin (mort imminente)

TITRE 2 : NATURE DE LA MORT (Si l'arbre est en vie, écrivez « 1 »)	
1. Mécanisme physique de la mortalité (Comment l'arbre est mort)	
a=	Debout
b=	Cassé (tronc/tige cassé)
c=	Déraciné (racine renversée)
d=	Debout ou cassé, probablement debout (non déraciné)
e=	Debout ou cassé, probablement cassé (non déraciné)
f=	Debout ou cassé (non déraciné)
g=	Cassé ou déraciné, probablement déraciné
h=	Cassé ou déraciné, probablement cassé
i=	Cassé ou déraciné (pas debout)
k=	Disparu (lieu trouvé, arbre recherché mais non trouvé)
l=	Présumé mort (emplacement de l'arbre non trouvé, par exemple : problèmes pour le retrouver, mauvaises cartes, etc.)
m=	Inconnu
2. Mort ou Tué	
j=	Anthropique
n=	Brûlé

o=	Foudre
s=	Inconnu, s'il a été tué ou tué
t=	Tueur d'au moins un autre arbre de > 10cm DHP
u=	Tué, pas plus d'informations
v=	Tué par un arbre mort brisé/cassé
w=	Tué par un autre arbre déraciné
x=	Tué par les branches d'un arbre debout et mort
y=	Tué par des branches tombées d'un arbre vivant
z=	Tué par un étrangleur
2=	Tué par une (des) liane (s)
3=	Tué par l'étrangleur / le poids de la liane (l'arbre est mort cassé ou tombé)
4=	Tué par l'étrangleur / compétition avec les lianes (arbre mort debout)

Annexe 4 : Fiche des données des Hauteurs des arbres

Numero de la Placette :		Nom de la Placette :		Date :				
Nom(s) du Mesureur(s) :								
Numero	Tag	Sous-Plct	Categorie	H1	H2	H3	Methode	Notes
1			10-19 cm					
2			10-19 cm					
3			10-19 cm					
4			10-19 cm					
5			10-19 cm					
6			10-19 cm					
7			10-19 cm					
8			10-19 cm					
9			10-19 cm					
10			10-19 cm					
11			20-29 cm					
12			20-29 cm					
13			20-29 cm					
14			20-29 cm					
15			20-29 cm					
16			20-29 cm					
17			20-29 cm					
18			20-29 cm					
19			20-29 cm					
20			20-29 cm					
21			30-39 cm					
22			30-39 cm					
23			30-39 cm					
24			30-39 cm					
25			30-39 cm					
26			30-39 cm					
27			30-39 cm					
28			30-39 cm					
29			30-39 cm					

Fiche 2 - Mesures des hauteurs d'arbre

Numero	Tag	Sous-Plct	Categorie	H1	H2	H3	Methode	Notes
30			30-39 cm					
31			40-49 cm					
32			40-49 cm					
33			40-49 cm					
34			40-49 cm					
35			40-49 cm					
36			40-49 cm					
37			40-49 cm					
38			40-49 cm					
39			40-49 cm					
40			40-49 cm					
41			> 50 cm					
42			> 50 cm					
43			> 50 cm					
44			> 50 cm					
45			> 50 cm					
46			> 50 cm					
47			> 50 cm					
48			> 50 cm					
49			> 50 cm					
50			> 50 cm					
51			PGA					
52			PGA					
53			PGA					
54			PGA					
55			PGA					

Mesurez les hauteurs d'arbres dans les placettes principales, prenant les hauteurs de dix arbres dans chaque catégorie de diamètre. Les arbres mesurés ne doivent pas être regroupés, mais plutôt pris dans plusieurs sous-placettes. Mesurez les 10 plus grands arbres dans la placette, s'ils ne sont pas compris dans la catégorie > 50 cm.

Annexe 5 : Densité de carbone de chaque parcelle en fonction de classes de diamètres

