



Travail de Fin d'Etudes (TFE)

Présenté et défendu en vue de l'obtention du diplôme de Master professionnel
diplômant en *Technique d'Aménagement Forestier (TAF)*

Estimation de la ressource valorisable des espèces du genre *Dialium* au sein de
la concession forestière CEB-PW/Gabon

Par

IYABO Victoria Hippolyte

(*Ingénieur Agronome*)

(4^{ème} Promotion Masters Régionaux/ERAIFT)

Promoteur : Pr DOUCET Jean Louis
(ULiège Gembloux Agro Bio Tech & ERAIFT)

Co-promoteur : Ir DOUCET Robin
(ULiège Gembloux Agro Bio Tech)

20 Mars 2024



Travail de Fin d'Etudes (TFE)

Présenté et défendu en vue de l'obtention du diplôme de Master professionnel
diplômant en *Technique d'Aménagement Forestier (TAF)*

**Estimation de la ressource valorisable des espèces du genre *Dialium* au sein de
la concession forestière CEB-PW/Gabon.**

Par

IYABO Victoria Hippolyte

(*Ingénieur Agronome*)

(4^{ème} Promotion Masters Régionaux/ERAIFT)

Composition du jury:

❖ Membres effectifs :

1. Dr ESSOUMAN Ebouel Pyrus Flavien : Président
2. Dr NSEVOLO Miankeba Papy : Secrétaire
3. Pr DOUCET Jean-Louis : Promoteur
4. Ir DOUCET Robin : Co-promoteur

❖ Membres suppléants :

1. Pr DIANSAMBU Makaanua Issac
2. Pr MATE Mweru Jean-Pierre

20 Mars 2024

Table des matières

Dédicaces	v
REMERCIEMENTS.....	vi
Résumé	vii
Abstract	viii
1. INTRODUCTION.....	1
1.1. Forêts du Bassin du Congo.....	1
1.2. L'Exploitation forestière en Afrique centrale.....	1
1.3. L'Exploitation forestière au Gabon.....	1
1.4. Raréfaction de la ressource	2
1.5. Essences de promotion	3
1.6. Le genre <i>Dialium</i>	3
1.7. Problématique.....	4
1.8. Objectifs	5
1.9. Pertinence avec l'approche systémique.....	5
2. MÉTHODOLOGIE.....	7
2.1. Milieu d'étude	7
2.1.1 Localisation géographique	7
2.1.2. Climat	8
2.1.3 Relief et sol.....	8
2.1.4 Végétation et typologies forestières	9
2.2. Échantillonnage	12
2.3. Préparation de la collecte de données.....	13
2.4. Collecte des données de terrain	13
2.5. Extraction des données topographiques	16
2.6. Traitement des données	17

2.6.1. Analyse par AAC	17
2.6.2. Identification des variables écologiques et topographiques influençant la répartition des <i>Dialium</i> exploitables	18
3. RÉSULTATS	20
3.1. Espèces présentes et caractéristiques.....	20
3.1.1. Espèces identifiées.....	20
3.1.4. Phénologie.....	21
3.2. Influence des UFA	22
3.2.1. Proportion par espèce	22
3.2.2. Densité, surface terrière et volume.....	23
3.3. Analyse des paramètres de distribution des espèces.	26
3.3.1. Répartition suivant le twi	26
3.3.2. Répartition suivant l'altitude.....	27
3.3.3. Répartition suivant la classe topographique.....	28
3.3.4. Répartition des <i>Dialium</i> suivant la typologie forestière Rejou-Mechain.....	30
3.3.5. Répartition des <i>Dialium</i> suivant la typologie forestière CEB	31
3.4. Modèle de régression logistique.....	32
4. DISCUSSION.....	36
4.1. Espèces de <i>Dialium</i> exploitables identifiées et caractéristiques	36
4.2. Effet des UFA sur les paramètres.....	37
4.3. Distribution des espèces	39
4.4. Exploitation des Omvong à CEB_PW	40
5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES	42
Bibliographie.....	43
ANNEXES	46

Liste des tableaux

Tableau 1 : Assiettes annuelles de coupe ouvertes	11
Tableau 2 : Classes de qualité des fûts	14
Tableau 3 : Clé d'identification des espèces de <i>Dialium</i> à 3-5 folioles, de plus de 80 cm de diamètre, des forêts de PW_CEB (R. Doucet et al. 2022)(voir photo 2)	16
Tableau 4 : Modalités de référence des variables catégorielles du modèle	19
Tableau 5 : Diamètre et hauteur par espèce	20
Tableau 6 : Comparaison de la qualité des arbres des deux espèces de <i>Dialium</i> exploitable (proportion de pieds)	21
Tableau 7 :Test d'indépendance des variables site et espèce.....	22
Tableau 8 : Comparaison des densités, surface terrières et volumes moyens des deux espèces de <i>Dialium</i> exploitables dans les UFA de CEB-PW.	23
Tableau 9 : Résultats du test ANOVA	24
Tableau 10 : Densité par classe de diamètre	25
Tableau 11 :Volume par classe de diamètre	26
Tableau 12 :Test d'indépendance du type de forêt et l'espèce	32
Tableau 13 :Significativité des variables explicatives	33
Tableau 14 :Test de l'effet global des variables sur le modèle	33
Tableau 15 : Comparaison des résultats de densité en tiges exploitables par ha	38
Tableau 16 : Estimation des densités et volumes de <i>D. polyanthum</i> (dhp > 80 cm, qualité 1 et 2) dans les trois UFA attribuées à CEB / PW	40

Liste des figures

Figure 1 : Illustration de l'approche systémique de l'étude	6
Figure 2 : Localisation CFAD PW-CEB.....	7
Figure 3 : Précipitations et températures, station de Lastourville	8
Figure 4 : Localisation des AAC ouvertes en cours d'exploitation.....	10
Figure 5 : Principaux types de forêts en Afrique centrale sur la base de leur composition fonctionnelle :	11
Figure 6 : Représentation des parcelles de comptage.....	12
Figure 7 : Localisation des parcelles d'échantillonnage.....	13
Figure 8 : Méthode de détermination des variables.....	17

Figure 9: Proportion d'arbres en fruit par espèce.....	22
Figure 10: Représentation graphique des moyennes de densité, surface terrières et volume .	25
Figure 11: Classification twi de la concession	26
Figure 12: Distribution des espèces suivant le twi	27
Figure 13: Classification altitude de la concession	28
Figure 14: Distribution des espèces suivant l'altitude.....	28
Figure 15: Classification topographique de la concession	29
Figure 16: Distribution des espèces suivant la classe topographique.....	29
Figure 17: Classification typologie forestière Rejou-Mechain et al., (2021).....	30
Figure 18: Distribution des espèces suivant la typologie forestière Rejou-Mechain	31
Figure 19: Distribution des espèces suivant le type forestier CEB	32
Figure 20: Effet des variables explicatives sur la variable espèce	35

Liste des photos

Photo 1 : Relevé du diamètre par estimation au-dessus des contreforts.....	15
Photo 2: Caractéristiques des folioles d'Omvong	15

Liste des annexes

Annexe I : Formulaire kobocollect (papier et mobile)	46
Annexe II: Folioles des espèces du genre Dialium	47
Annexe III : Numéro de prospection et tronc de Dialium.....	47
Annexe IV : Folioles d'Omvong	48
Annexe V : Distribution diamétrique par espèce.....	48
Annexe VI: Test de vérification des conditions d'application de l'analyse de la variance.....	49
Annexe VII : Représentation graphique test anova par UFA pour volume, St et densité.....	49

Dédicaces

À ma Princesse AKELE B. Mawena, ton Amour m'a donné la force d'avancer durant ces deux années loin de toi.

À toi Gaël, merci pour ton soutien inconditionnel et ton accompagnement tout au long de cette aventure.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce stage, il m'est donné ici l'opportunité de remercier toutes les personnes ayant contribué de quelques manières à la réalisation de ce Mémoire.

Ma profonde gratitude s'adresse premièrement au Professeur **Jean Louis Doucet** qui a été d'une aide précieuse depuis l'obtention de ce stage au sein de l'entreprise jusqu'à la rédaction du Mémoire. Merci Professeur pour le temps, l'énergie sur le terrain et surtout la connaissance partagée.

Merci au futur Docteur **Robin Doucet**, mon Co-promoteur pour toute la disponibilité, les orientations, les encouragements et surtout l'aide apportée durant ces quelques mois.

Mes profonds remerciements s'adressent également à l'entreprise **Precious Woods- CEB** au travers de Monsieur **David Zakamdi**, Responsable Gestion Durable, pour l'opportunité qui m'a été donnée de réaliser mon travail de fin d'études ainsi que pour toute la logistique mise à ma disposition.

Monsieur **Stevy Nna Ekome** et Docteur **Romaric Ndonga**, vous avez toute ma gratitude pour tous les précieux conseils, les encouragements et les orientations apportées durant tout mon séjour sur le site de **Precious Woods- CEB**.

Je n'oublie pas également de remercier toute l'équipe sylvicole pour les moments passés ensemble en forêt **Jean Bosco Bokomba, Juste Simangoye, Henri Koumba et Ingrid Nteni**, mais également l'ensemble du personnel de l'entreprise pour l'accueil chaleureux.

Un remerciement tout particulier à l'École Régionale Postuniversitaire d'Aménagement et de Gestion intégrés des Forêts et Territoires tropicaux (ERAIFT) au travers de son Directeur Professeur **Michel Baudouin** et du Professeur **Jean-Pierre Mate Mweru**, garants du bon déroulement de notre formation à l'ERAIFT.

Merci à l'ensemble du **Corps Enseignant** ainsi qu'aux **Assistants**, pour la formation, les efforts d'encadrements et les orientations scientifiques.

Pour finir, il m'est absolument impossible d'oublier de remercier l'ensemble de la **quatrième Promotion** pour tous les moments marquants passés en RDC. Pour toujours votre *maman sociale*.

Résumé

Les Omvong, espèces du genre *Dialium*, présentent des caractéristiques intéressantes dans le cadre de la promotion des espèces non exploitées visant à réduire la pression sur celles exploitées. Les Omvong présentent cependant des aptitudes à la valorisation différentes. L'espèce *Dialium* sp. nov., (nouvelle espèce en cours de description) présente notamment des teneurs en silice élevées et des rendements sciage moindres. Cette étude a pour objectif d'évaluer la proportion d'Omvong valorisable au sein de la concession Precious Woods-CEB(Gabon). Ainsi, 391 pieds d'Omvong exploitables ($DMA \geq 80\text{cm}$), répartis sur 1077ha, ont été analysés. Trois espèces étaient présentes, *Dialium* sp. nov., *Dialium polyanthum* et *Dialium lopense*. Un modèle de régression logistique combinant les variables espèce, diamètre, classe topographique, indice d'humidité topographique et typologie forestière a été construit afin de déterminer les facteurs intervenant dans la distribution des espèces. *D. lopense*, du fait de sa faible densité ($0,006\text{tige/ha}$), a été exclu des simulations. *D. polyanthum* et *D. sp. nov* ont été observées à des densités respectives de $0,17 \pm 0,12$ et $0,27 \pm 0,23\text{tige/ha}$ avec des volumes exploitables (qualité 1 et 2) estimés respectivement à $1,49 \pm 1,11\text{m}^3/\text{ha}$ et $2,16 \pm 1,79\text{m}^3/\text{ha}$, toutes UFA confondu. Le type de végétation et l'altitude influencent significativement les proportions relatives des espèces. *D. polyanthum*, espèce valorisable, est moins présente dans les forêts âgées à okoumé et les sommets de colline. Ces résultats fournissent à CEB-PW des critères objectifs permettant d'envisager la valorisation de *D. polyanthum*. Compte tenu de leur endémisme limité et de leurs qualités technologiques moindres, *D. lopense* et *D. sp. nov.* ne devraient pas être exploitées.

Mots clefs : Proportion valorisable, Caractéristique dendrométrique, Abondance, Distribution

Abstract

Omvongs, species of the *Dialium* genus, have interesting characteristics when it comes to promoting non-harvested species in order to reduce pressure on harvested species.

However, Omvong species differ in their suitability for valorization. The *Dialium* sp. nov. species (a new species currently being described), in particular, has high silica content and lower sawing yields. The aim of this study is to assess the proportion of Omvong that can be processed within the Precious Woods-CEB concession (Gabon). Thus, 391 exploitable Omvong trees (DMA \geq 80cm), spread over 1077 ha, were analyzed. Three species were present, *Dialium* sp. nov., *Dialium polyanthum* and *Dialium lopense*. A logistic regression model combining the variable species, diameter, topographic class, Topographic Wetness Index (twi) and forest typology was constructed to determine the factors involved in species distribution.

D. lopense, due to its low density (0.006 stems/ha), was excluded from the simulations. *D. polyanthum* and *D. sp. nov.* were observed at densities of $0,17\pm 0,12$ and $0,27\pm 0,23$ stems/ha respectively, with harvestable volumes (quality 1 and 2) estimated at $1,49\pm 1,11\text{m}^3/\text{ha}$ and $2,16\pm 1,79\text{ m}^3/\text{ha}$ respectively, for all FMUs combined. Vegetation type and altitude significantly influence the relative proportions of species. *D. polyanthum*, a valuable species, is less present in older okoumé forests and hilltops. These results provide to CEB-PW, objective criteria for considering the exploitation of *D. polyanthum*. Due to their limited endemism and lower technological qualities, *D. lopense* and *D. sp. nov.* should not be exploited.

Keywords : Valuable proportion, Dendrometric characteristic, Abundance, Distribution

1. INTRODUCTION GENERALE

1.1. Forêts du Bassin du Congo

Très souvent mentionnées pour leur importante diversité biologique, les forêts du bassin du Congo occupent également une place capitale dans le développement économique des pays de la sous-région. Le bassin du Congo concentre 197 millions d'hectares de forêt (Vancutsem et al., 2020) qui jouent un rôle crucial pour les peuples qui y vivent (emploi, collecte de PFNL...). Ces forêts offrent des moyens de subsistance à 60 millions de personnes et contribuent à en nourrir 40 millions supplémentaires dans les centres urbains (Dalimier et al., 2021). De plus, le secteur de l'exploitation forestière contribue à l'économie des pays au niveau national et sous régional, avec une contribution au PIB allant de 3% (Gabon) à 13% (RCA) (BAD, 2018).

1.2. L'Exploitation forestière en Afrique centrale

Historiquement, le secteur industriel de l'exploitation forestière a joué un rôle important dans le bassin du Congo. Il occupe une part non négligeable de l'utilisation des terres en Afrique centrale avec environ près de 54 millions ha (27 %) classés en forêt de production de divers types, mais principalement sous forme de concessions forestières (Bayol et al. 2021). L'exploitation forestière telle qu'elle est pratiquée dans le bassin du Congo par les entreprises forestières légales consiste en une exploitation sélective. Les exploitants ne récoltent, en moyenne, qu'entre 1 et 3 arbres par hectare tous les 25 à 30 ans (Dirou, 2017).

La gestion des forêts tropicales d'Afrique centrale doit suivre des normes en termes de durabilité, dont la conception d'un plan d'aménagement. Ce dernier représente un outil premier pour une exploitation rationnelle et durable de la ressource forestière. À cela, on notera également le recours croissant à la certification forestière de gestion durable, au travers du FSC (Forest Stewardship Council) et du PAFC (Pan African Forest Certification) - PEFC.

1.3. L'Exploitation forestière au Gabon

Le Gabon est couvert de forêt à plus de 80 % dont une grande part est dédiée à l'exploitation forestière. Le code forestier prévoit, quatre types de permis forestiers : la Concession Forestière sous Aménagement Durable (CFAD), le Permis Forestier Associé (PFA), le Permis de Gré à Gré (PGG) et les Forêts Communautaires (Madingou et al., 2019).

Le panorama de la filière forêt bois au Gabon de 2019 offre quelques chiffres et informations clés données par la Direction Générale des Forêts : 97 concessions couvrant 16 129 654 ha, 12

739 939 ha de concessions forestières aménagées et 2 287 453 ha de forêts certifiées (Madingou et al., 2019).

Le Gabon, après un déclin en 2009, a vu sa production augmenter par la suite pour atteindre 1,1 million de m³ de produit/an (Madingou et al., 2019). Inscrit dans la loi 16/01 du 31 décembre 2001 portant code forestier en République gabonaise, le plan d'aménagement est une obligation légale pour les exploitants forestiers exerçant dans le pays. Le pays s'est également lancé dans une politique de dynamisation du processus de certification de ses forêts en mettant en place une fiscalité favorisant les entreprises certifiées (Bayol et al. 2021). C'est le premier pays dans la sous-région à avoir mis en place un système de certification locale PAFC Gabon en plus du FSC déjà bien installé sur le territoire. Bien que ces outils aient joué jusque-là un rôle central dans la gestion durable des forêts du bassin, la ressource forestière exploitable devient de moins en moins disponible dans les forêts.

1.4. Raréfaction de la ressource

Malgré la diversité spécifique de la forêt tropicale, l'exploitation forestière focalise son attention uniquement sur un nombre très réduit d'essences exploitables, dont le volume ne représente que le tiers du volume du bois d'œuvre disponible en forêt (Lefang, 2001). Parmi plus de cent espèces généralement disponibles dans la forêt humide tropicale d'Afrique centrale, moins de 13 sont régulièrement récoltées, et les trois espèces les plus exploitées représentent environ 59 % de la production de grumes (Ayous et Sapelli au nord et à l'est du bassin et Okoumé dans le sud et les zones côtières) (Doetinchem et al., 2013). Au Gabon, l'exploitation est focalisée sur l'Okoumé (*Aucoumea klaineana*) qui représente à lui seul 70% de la production (Lefang, 2001). Bien que ce type d'exploitation ait un impact limité sur le couvert forestier, il engendre une raréfaction progressive des espèces héliophiles caractérisées par un déficit de régénération dans les forêts matures (Bibang et al., 2021). En effet, la plupart des espèces exploitées ont un tempérament héliophile, c'est-à-dire nécessitant une mise en lumière rapide et importante dès le stade « semis » pour poursuivre leur développement (Doucet, 2007). Leur régénération est donc rare dans le sous-bois et l'ouverture du couvert provoquée par l'exploitation s'avère en général insuffisante pour permettre une régénération significative (Doucet, 2007).

Dans un tel contexte de raréfaction des essences commerciales principales, il est donc indispensable de mieux valoriser les ressources en limitant la pression sur les espèces principales. Une des solutions aujourd'hui serait la valorisation d'autres essences présentant :

(i) des caractéristiques technologiques intéressantes et (ii) une régénération garantie sur le long terme.

1.5. Essences de promotion

Les difficultés du secteur bois en Afrique centrale obligent les acteurs à s'orienter progressivement vers des essences regroupées sous le nom d'espèces de promotion (*lesser known timber species*) ou vers de nouveaux produits (Koyo, 1982 ; ATIBT, 2017). Elles sont ainsi évoquées sous le nom d'essences forestières peu connues, soit parce qu'elles pénètrent timidement le marché du bois, soit par ce que l'on ignore encore leur valeur technologique (Lefang, 2001). Ce contexte a permis la mise en place de projet de recherche axé sur les essences de promotion afin d'améliorer les connaissances sur des espèces très peu connues.

Le Gabon, conscient des défis majeurs du secteur forestier, créé par décret n°01400/PR/MEF du 6 décembre 2011 l'Agence d'Exécution des Activités de la Filière Forêt-Bois qui a entre autres pour mission d'appuyer les actions de promotion des essences peu ou pas connues des utilisateurs afin de réduire la pression sur celles couramment exploitées.

Dans les essences à potentiel intéressant identifiées par la BAD en 2018, l'Omvong (*Dialium spp.*) a été identifié comme bois pouvant potentiellement remplacer des essences à bois durable comme l'Azobé (*Lophira alata*).

1.6. Le genre *Dialium*

Le genre *Dialium*, de la famille des Fabaceae (sous-famille des Dialioideae), regroupe actuellement 19 espèces en Afrique Centrale (Bibang et al., 2021). Selon Steyaert (1951), les arbres de ce genre peuvent atteindre 50m avec un tronc cylindrique ou tortueux à contrefort relativement peu développés. Leur écorce est soit lisse, soit craquelée ou écailleuse, exsudant une résine rouge lorsqu'elle est entaillée. Leurs feuilles sont composées imparipennées, à pétiole et pétiolules épaissis à la base, ridés transversalement (Bibang et al., 2021). Il est dénombré au sein du genre de nombreuses espèces multi-usages, que ce soit pour la valorisation du bois ou des molécules (Raponda-Walker & Sillans, 1961). Elles ont un bois généralement durable, résistant aux champignons, aux termites, aux foreurs marins et aux insectes (R. Doucet et al., 2022). Le bois pourrait être employé en parqueterie, ébénisterie, pour le revêtement extérieur, pour la construction des ponts et d'autres usages industriels en travaux lourds (Gérard et al., 2011 ; Meunier et al., 2015 ; Bibang et al., 2021 ; R. Doucet et al., 2022).

Au Gabon, les *Dialium* sont classés selon le nombre de folioles qui composent leurs feuilles. D'une part on retrouve l'appellation « Omvong » regroupant les espèces possédant de 3 à 5 folioles (*Dialium pachyphyllum* Harms, *Dialium angolense* Welw. ex Oliver., *Dialium polyanthum* Harms, *Dialium lopense* Breteler), de l'autre, toutes les autres espèces à plus de 5 folioles sont reprises sous le vocable « eyoum » (Bibang et al., 2021). Récemment, un nouveau morphotype d'Omvong, *Dialium* sp. nov., a également été découvert dans les forêts de la concession forestière de PW-CEB (R. Doucet et al. 2022). Les Omvong, atteignant généralement de plus grandes dimensions que les Eyoum, semblent plus intéressantes pour l'exploitation forestière. De plus, en Afrique centrale, certaines espèces du genre *Dialium* sont localement abondantes et semblent se régénérer correctement (Bibang et al., 2021). Toutefois, bien que morphologiquement similaires, les différentes espèces n'ont pas toujours des bois aux propriétés identiques. *Dialium* sp. nov. aurait notamment des teneurs en silice plus élevées que les espèces sœurs et des rendements en sciage nettement moindre. Par ailleurs, *D. lopense* et *D. sp. nov.* sont endémiques du centre du Gabon et la pertinence de leur exploitation se pose. Il est donc nécessaire de bien différencier les espèces reprises sous l'appellation Omvong dans les plans d'aménagement.

1.7. Problématique

Selon le rapport de la BAD 2018, l'Omvong est pressenti une essence de bois dur et durable pouvant appuyer la production d'Azobé (*Lophira alata*) ou d'Okan (*Cylicodiscus gabunensis*). Cette essence est également reconnue pour avoir de hauts taux de silice, rendant son sciage problématique. Des investigations récentes ont mis en évidence une variation de la teneur en silice et de la durabilité naturelle du bois entre les espèces, pouvant affecter leur transformation et leur utilisation. Plus particulièrement, *D. sp. nov.* aurait une teneur en silice plus élevée ainsi qu'une durabilité naturelle plus faible que les autres espèces selon R. Doucet et al. (2022). Or, une teneur élevée en silice est très abrasive et augmente les difficultés de sciage (R. Doucet et al., 2022). En effet, le bois étant désaffutant, le recours à des lames au carbure de tungstène est nécessaire (Gérard et al., 2016 ; Bibang et al. 2021 ; R. Doucet et al. 2022). Dès lors la valorisation de cette espèce semble difficile.

Lors des inventaires d'aménagement, notamment au niveau de l'entreprise Precious Woods-CEB, l'essence de l'arbre fait référence au nom pilote gabonais, conformément à la liste établie par l'administration des Eaux et forêts, pouvant regrouper plusieurs espèces botaniques. De ce fait, l'évaluation de l'abondance des essences ne tient nullement compte des potentialités réelles

de chacune des espèces réunies sous le même nom pilote. Cette évaluation devrait donc tenir compte des espèces véritablement valorisables et cela passe par une évaluation de l'abondance de l'espèce *D. polyanthum*, cette dernière ayant un bois plus facilement valorisable en scierie par rapport à *D. sp. nov.*

De plus, pour certaines espèces, les connaissances en écologie (tempérament, croissance, reproduction, régénération) sont très lacunaires. Les paramètres (mortalité naturelle, croissance) utilisés lors des aménagements forestiers sont en conséquence imprécis (Bibang et al., 2021).

1.8. Objectifs

L'objectif général de cette étude est d'évaluer les potentialités des *Dialium* exploitables sur l'ensemble du massif forestier concédé à l'entreprise forestière CEB-PW.

Objectifs spécifiques

- ❖ Identifier les différentes espèces de *Dialium* exploitables reprises sous l'appellation Omvong dans les inventaires d'aménagement ;
- ❖ Comparer les caractéristiques qualitatives et quantitatives des espèces en fonction des l'UFA ;
- ❖ Identifier les variables écologiques et topographiques intervenant dans la répartition des espèces exploitables à l'échelle de la concession forestière.
- ❖ Estimer les quantités valorisables des Omvong dans les trois Unités Forestière d'Aménagement de la concession CEB ;

Hypothèses

- ❖ La distribution des espèces sous le vocable d'Omvong au sein de la concession CEB est liée à certains paramètres environnementaux.
- ❖ Il existe au sein de la concession CEB une proportion intéressante de *Dialium* valorisable pouvant permettre d'envisager son exploitation.

1.9. Pertinence avec l'approche systémique

Cette étude fait intervenir plusieurs disciplines (figure 1) permettant d'analyser la problématique de l'évaluation des Omvong valorisable. Le relevé des données dendrométriques sur les différentes espèces de *Dialium* est conditionné au préalable par une identification des

espèces au travers de leurs caractéristiques botaniques. De plus, elle fera également intervenir les systèmes d'information géographique (SIG) permettant une analyse à grande échelle du massif. En effet, la distribution d'une espèce se fait suivant différents paramètres environnementaux pouvant influencer de manière variable cette distribution. Ainsi, ce travail permettra d'identifier ces différentes variables bien qu'il soit accentué principalement sur les paramètres topographiques. Les méthodes d'analyses statistiques permettront par la suite de valider les résultats issus des données afin d'énoncer des conclusions pertinentes.

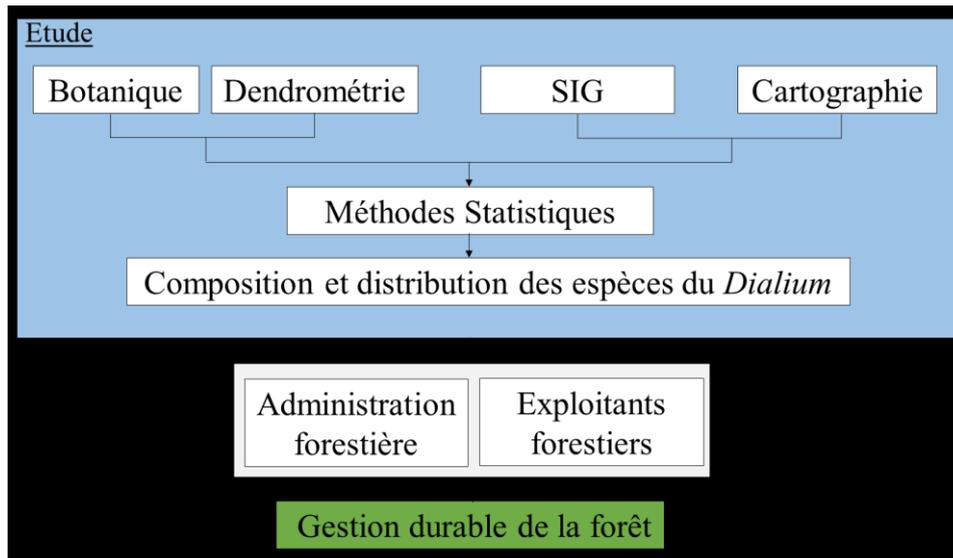


Figure 1 : Illustration de l'approche systémique de l'étude

Cette étude revêt en soi un double intérêt : en premier lieu sur le plan scientifique, elle permet d'aboutir à une meilleure compréhension de l'implication des facteurs environnementaux dans la distribution et l'abondance spécifique. De plus, les résultats obtenus à l'issue de cette étude pourront constituer un outil intéressant dans la gestion durable des forêts aussi bien pour l'entreprise que pour l'administration forestière.

2. MÉTHODOLOGIE

2.1. Milieu d'étude

2.1.1 Localisation géographique

Dans le cadre de cette étude, les travaux de terrain ont été effectués au sein de la concession forestière de la Compagnie Équatoriale du Bois, groupe Precious Woods. Présente dans le sud du Gabon depuis 1946 à Doussala, la Compagnie Équatoriale du Bois est installée depuis 1987 sur son site actuel à Bambidie. L'entreprise marque son engagement dans la gestion durable des forêts en mettant sur pied dès 1995 son propre bureau d'aménagement et par la suite le premier plan d'aménagement durable au Gabon en l'an 2000 (Precious Woods & Terea, 2015). Le Plan d'Aménagement de la Concession forestière sous Aménagement Durable (CFAD) de la société CEB s'étend sur un massif de 596 800 ha et permet la planification des activités forestières, industrielles, environnementales et sociales jusqu'en 2025 (Precious Woods & Terea, 2015). Selon Precious Woods & Terea (2015), grâce à ses bonnes pratiques, la PW_CEB est la première entreprise au Gabon à disposer des certificats FSC (2008) et PAFC-PEFC (2018). La concession est située au sud-est du Gabon (figure 2) à cheval entre les provinces du Haut-Ogooué et de l'Ogooué Lolo (Precious Woods & Terea, 2015).

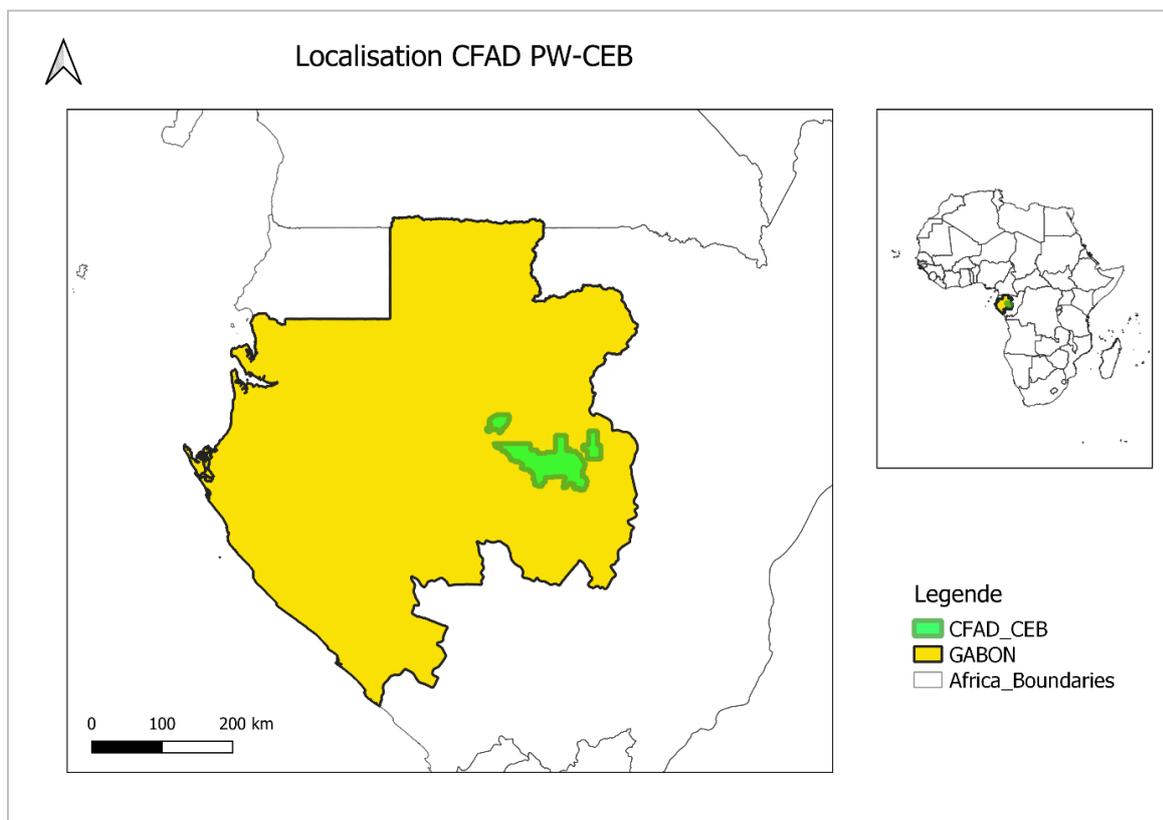


Figure 2: Localisation CFAD PW-CEB (source : auteur)

Le massif concédé à l'entreprise est subdivisé en 3 unités forestières d'aménagement (UFA). Les activités d'exploitation de l'entreprise s'effectuent simultanément au sein de ces 3 entités. Au sein de chaque UFA, l'exploitation se localise pour 2023 uniquement dans des Assiettes Annuelles de Coupe (AAC) ouvertes.

2.1.2. Climat

La zone d'étude est caractérisée par un climat équatorial humide et des températures moyennes oscillant entre 21°C et 28°C (Precious Woods & Terea, 2015). À l'instar des autres régions du pays, la zone connaît deux saisons très pluvieuses d'octobre à mi-décembre et de mars à juin. Les précipitations annuelles moyennes sont de l'ordre de 1 700 mm dans la partie Sud-Ouest de la concession et 1 500 mm dans la partie Nord-Est (Precious Woods & Terea, 2015). La figure 3 présente l'évolution des précipitations (1951-1975) et des températures (1954 – 1975) au niveau de la station de Lastoursville (Precious Woods & Terea, 2015).

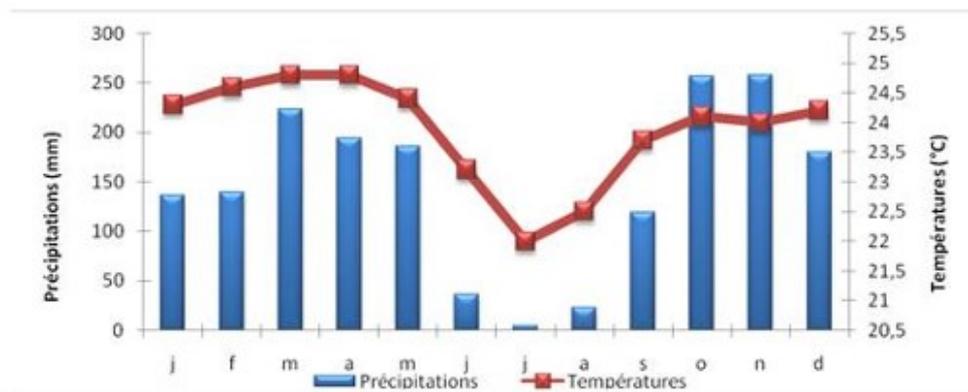


Figure 3 : Précipitations et températures, station de Lastoursville (Precious Woods & Terea, 2015)

2.1.3 Relief et sol

Il est observé au sein de la concession un relief, constitué d'un ensemble de plateaux et de collines, fortement sillonné ou entaillé par de nombreux cours d'eau, notamment l'Ogooué, la Lékoni, la Sébé et la Lassio, qui ceignent et traversent la concession (Precious Woods & Terea, 2015). Les altitudes oscillent entre 300 et 700 mètres et certaines zones présentent des pentes importantes, associées à la présence de cailloux (Precious Woods & Terea, 2015).

Au sein de la PW-CEB, on retrouve les sols ferrallitiques peu profonds, argileux, à gravolites de concrétions, ainsi que de plaquettes (Precious Woods & Terea, 2015). Ces types de sols sont associés à la forêt sempervirente.

2.1.4 Végétation et typologies forestières

2.1.4.1. Typologie forestière selon CEB

Les données recueillies lors de l'inventaire d'aménagement (Precious Woods & Terea, 2015), ont permis d'identifier quatre grands types de peuplements (figure 4) ayant servi de base au découpage de la CFAD :

❖ *Forêt âgée à bois divers et okoumé (FAOK)*

Cette forêt se caractérise par l'abondance de Sorro (*Scyphocephalium manni*) et d'Okoumé (*Aucoumea klaineana*) de gros diamètres. Elle présente une forte diversité spécifique, avec notamment de nombreuses essences de bois divers (terme utilisé au Gabon pour désigner les essences autres que l'okoumé). La présence d'arbres de gros diamètres parmi des essences de bois rouges à croissance relativement lente permet de qualifier ce type de peuplement de « vieille forêt ».

❖ *Forêt âgée à bois divers sans okoumé (FAssOK)*

Cette forêt se distingue essentiellement de la précédente par l'absence d'Okoumé. Elle présente deux variantes : l'une où l'Okoumé est encore présent, mais très rare, avec une absence totale de jeunes tiges. Des essences comme le Béli (*Julbernardia pellegriniana*), l'Omvong ou le Mbanegue (*Gillettiodendron pierreanum*) représentent chacune 5 à 6 % des effectifs. L'autre où l'Okoumé est totalement absent, car on sort totalement de l'aire de répartition de cette espèce. Le Sorro représente 35 à 40 % des effectifs, l'Ilomba (*Pycnanthus angolensis*) et l'Engona (*Pentaclethra eetveldeana*) représentent 6 à 8 % des effectifs.

❖ *Jeune forêt à okoumé (FJOK)*

Cette forêt se caractérise par l'abondance de Sorro et d'Okoumé qui représentent respectivement 29 et 30 % des effectifs des tiges de plus de 60 cm de diamètre. Des arbres de gros diamètre sont déjà présents, mais la structure des peuplements d'Okoumé, encore très abondants et présentant de nombreuses tiges de petit diamètre, traduit la relative jeunesse de ce type de forêt (l'Okoumé étant une espèce typiquement héliophile).

❖ *Très jeune forêt à okoumé (FTJOK)*

Ce type de peuplement est un ensemble de mosaïques forêts / savanes, présentant de très jeunes et très denses peuplements d'Okoumé. L'Okoumé représente plus de 35 % des effectifs de plus de 60 cm de diamètre. Des essences comme les Moabi (*Baillonella toxisperma*), Kévazingo (*Guibourtia* spp.) sont quasiment absentes de ces forêts, peu riches en bois divers.

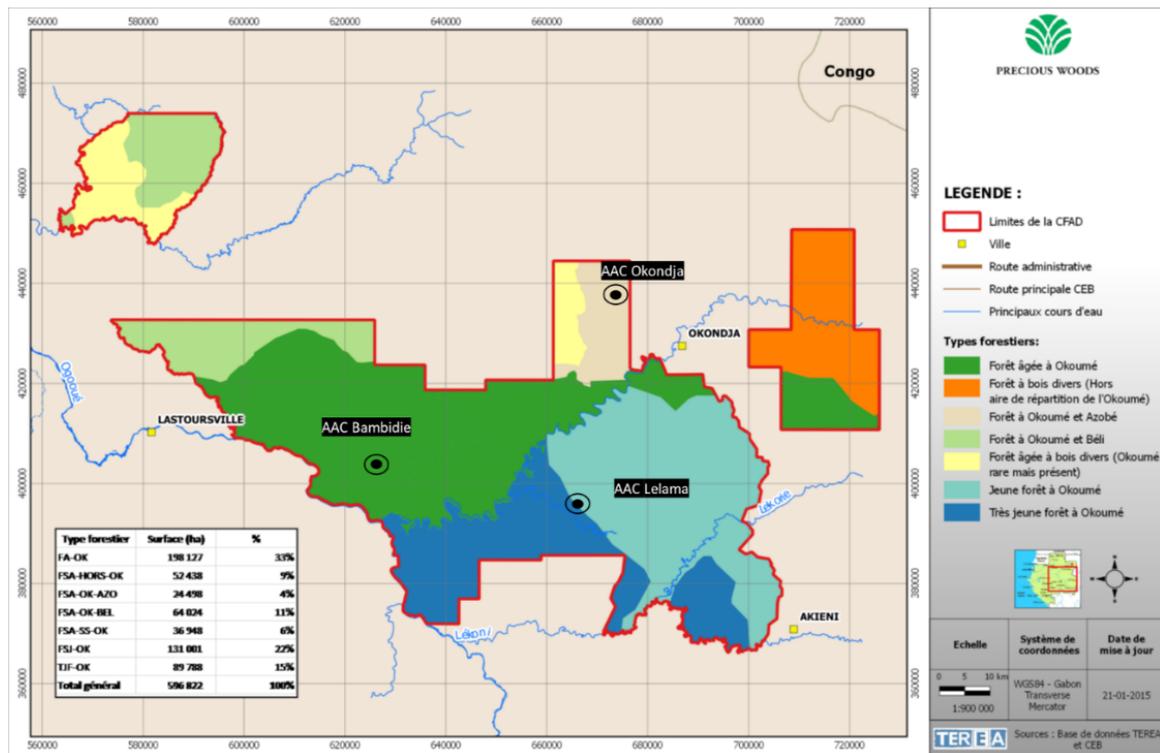
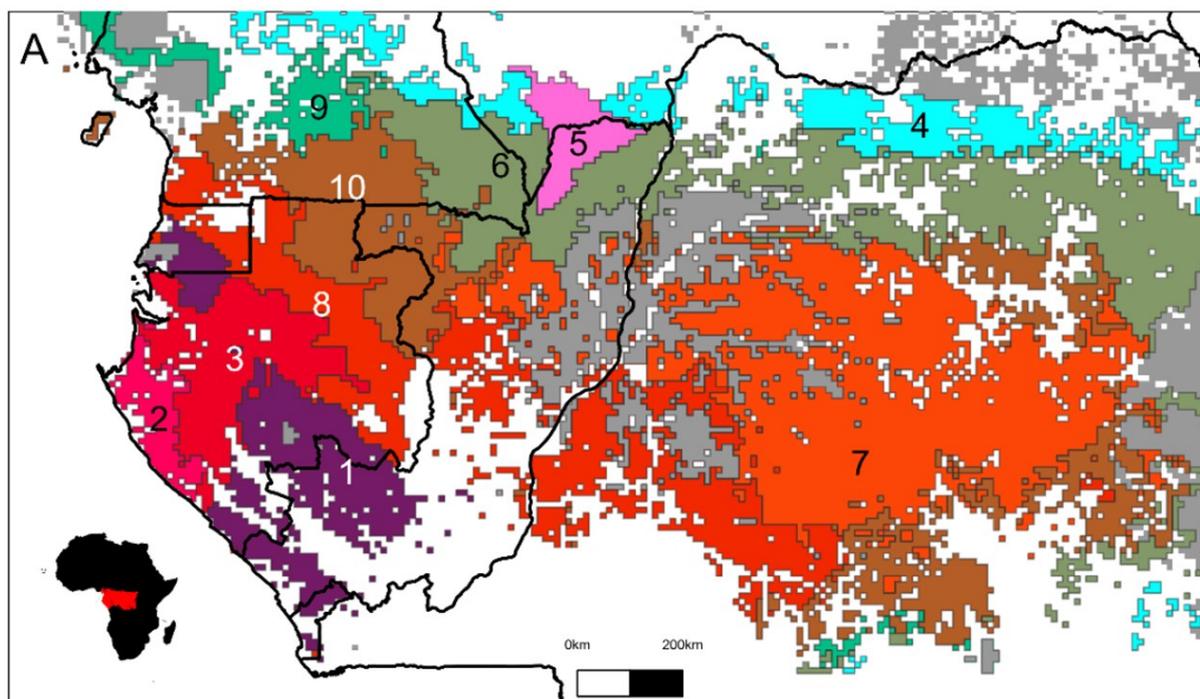


Figure 4 : Localisation des AAC ouvertes en cours d’exploitation (Precious Woods & Terea, 2015)

2.1.4.2. Typologie forestière selon Rejou-Mechain et al. (2021)

La typologie forestière de la concession PW_CEB peut également être caractérisée suivant la synthèse régionale de Réjou-Méchain et al. (2021) qui décrit les compositions floristiques et fonctionnelles des forêts d’Afrique centrale (Dalimier et al., 2021). Les inventaires d’aménagement réalisés par 105 concessions forestières réparties sur toute l’Afrique centrale (excepté dans les zones de sols hydromorphes et les zones d’altitude) ont été combinés et ont permis de caractériser 8 grands types floristiques (figure 5) présents dans la région (Réjou-Méchain et al., 2021).



Source : Réjou-Méchain et al. (2021)

Figure 5: Principaux types de forêts en Afrique centrale sur la base de leur composition fonctionnelle :

(1) sempervirente des hauts plateaux atlantiques, (2) sempervirente côtière atlantique, (3) atlantique sempervirente de l'intérieur, (4) semi-décidue marginale, (5) sempervirente semi- décidue sur grès, (6) semi-décidue, (7) sempervirente centrale, (8) sempervirente mixte, (9) semi-décidue dégradée (10) transition semi-décidue sempervirente.

Il ressort de cette classification que la concession PW_CEB est composée de deux types forestiers à savoir les types forestiers Atlantique sempervirente de l'intérieur (3) et Sempervirente mixte (8).

Pour cette étude, les relevés de terrain ont été effectués au sein des 3 AAC ouverte en cours d'exploitation pour cette année 2023. Elles se situent chacune dans différents types de forêts (tableau 1) à savoir :

Tableau 1 : Assiettes annuelles de coupe ouvertes

<i>UFA</i>	<i>ACC</i>	<i>Bloc</i>	<i>Superficie (ha)</i>	<i>Typologie forestière CEB</i>	<i>Typologie forestière Rejou- Mechain et al. (2021)</i>
<i>Bambidie</i>	1523	1	4855	Forêt âgée à bois divers et okoumé	Atlantiques sempervirentes de l'intérieur (3)
<i>Okondja</i>	2523	1	3098	Forêt âgée à bois divers et okoumé – strate d'Okoumé et Azobé	Sempervirente mixte (8)
<i>Lelama</i>	3523	2	1301	À cheval entre la Jeune forêt et la Très jeune forêt à okoumé	Sempervirente mixte (8)

2.2. Échantillonnage

La sélection des pieds à visiter a été opérée sur base des parcelles de comptage, utilisées lors de l'inventaire d'exploitation des trois AAC. La méthode d'inventaire d'exploitation choisie par PW-CEB est une méthode par quadrillage systématique, par carré de 3 000 m de côté, chaque carré est découpé par la suite en parcelle de comptage (Precious Woods & Terea, 2015) tel que présenté dans la figure 6.

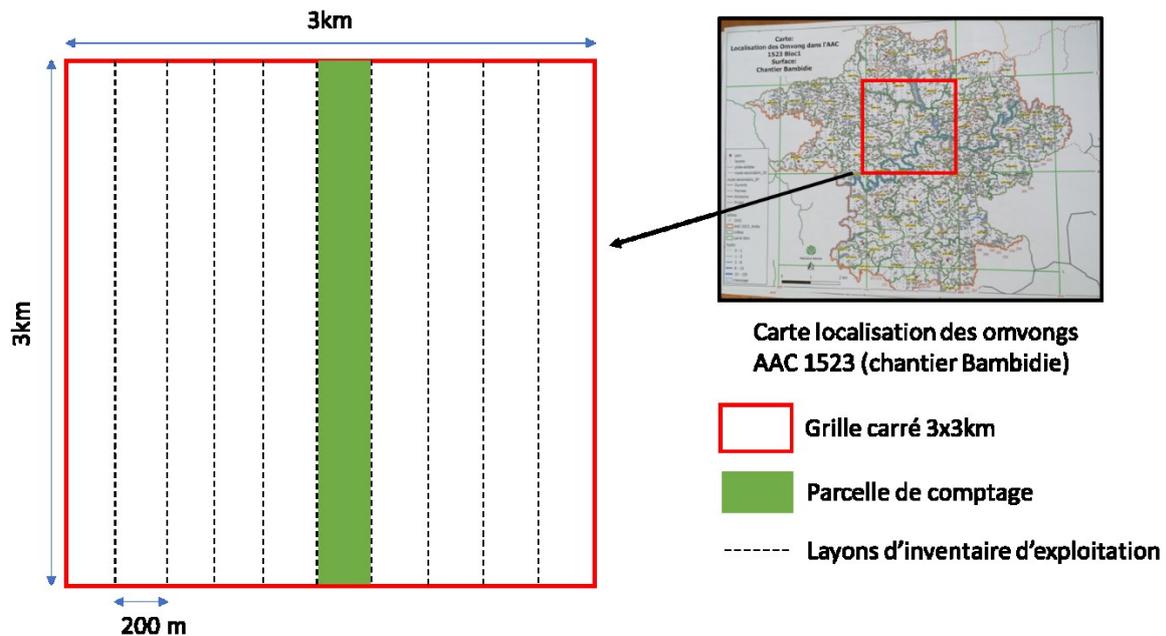


Figure 6 : Représentation des parcelles de comptage

Ces parcelles de comptage sont matérialisées sur le terrain comme des unités de 60 ha (3000 x 200 m), parfois moins lorsque située au niveau des limites de l'AAC. Dans cette étude un taux d'échantillonnage de 10% a été adopté. Les parcelles ont été sélectionnées aléatoirement dans chaque AAC au travers de la fonction Sample du logiciel Rstudio (v.4.2.2). L'ensemble des parcelles (Figure 7) retenues couvre une superficie de 512,4 ha dans l'UFA 1 (Bambidie), 316,8 ha dans l'UFA 2 (Okondja) et 247,9 ha dans l'UFA 3 (Lelama) pour un total de 1 077,1 ha. Dans chacune de ces parcelles, chaque pied identifié comme Omvong par les prospecteurs a été réidentifié et mesuré.

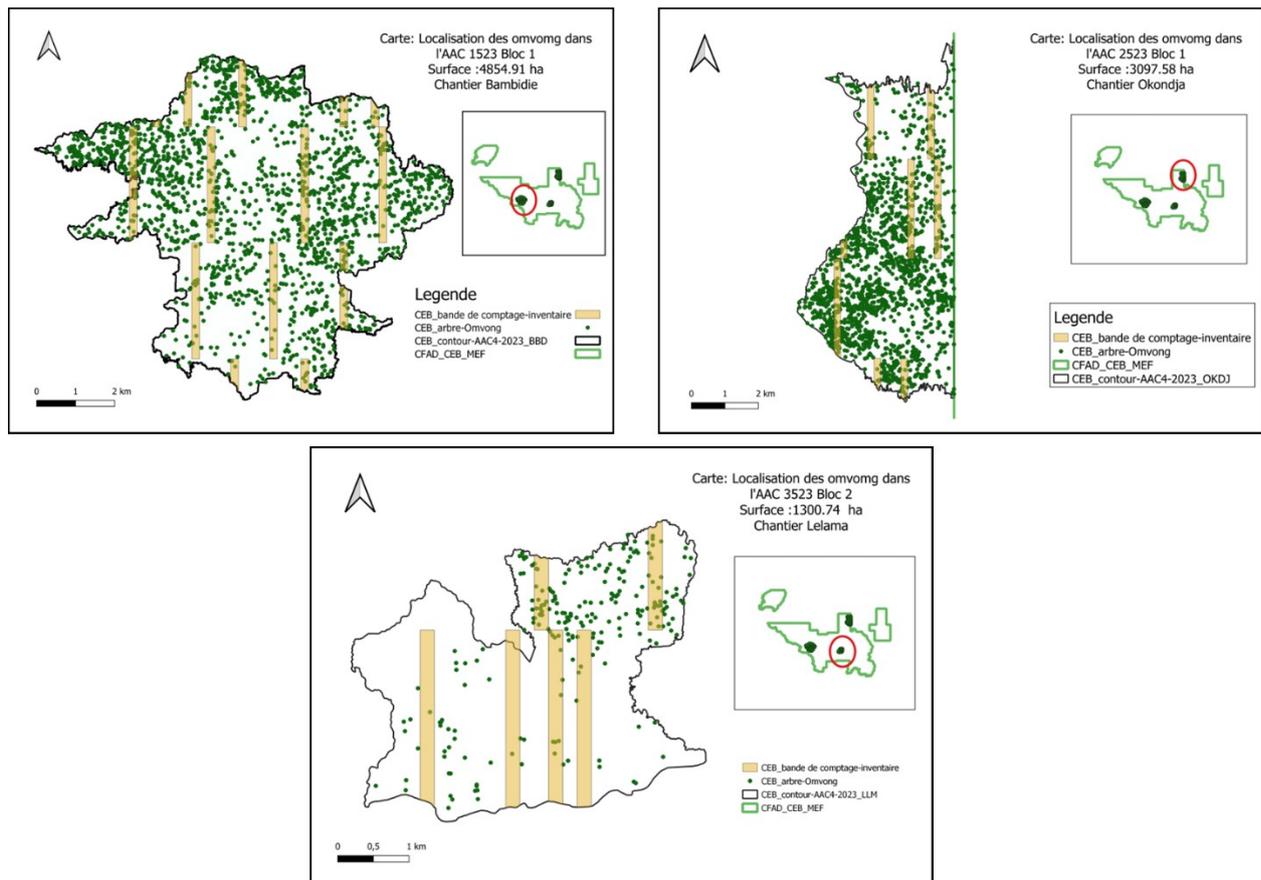


Figure 7 : Localisation des parcelles d'échantillonnage

2.3. Préparation de la collecte de données

Une fiche de collecte des données a été réalisée à l'aide du logiciel KoboToolbox qui est un outil gratuit et open source pour la collecte de données. La fiche de terrain ainsi élaboré (annexe I) a été par la suite déployée pour son utilisation sur l'application mobile KoboCollect v2023.2.4. Sur base des données fournies par le bureau cartographie, les pieds d'Omvong situés dans les parcelles d'échantillonnage ont été répertoriés puis projetés sur le logiciel géographique Google Earth Pro 7.3.6.9345 (64-bit) grâce à leurs coordonnées GPS. Cette projection permet de déterminer l'alignement de ces derniers sur le terrain le long des layons afin de faciliter la progression d'une extrémité à l'autre de la parcelle.

2.4. Collecte des données de terrain

La collecte des données s'est effectuée du 27 novembre 2023 au 26 janvier 2024, elle a débuté au niveau de l'UFA Bambidie, puis s'est poursuivie dans les UFAs d'Okondja et de Lelama. L'équipe de terrain, composée de trois personnes (la mémorante et 2 agents sylvicoles), s'est déployée sur l'ensemble des parcelles avec une progression variable de 10 à 35 pieds/jour

suivant l'éloignement des pieds et les contraintes climatiques ou logistiques. Pour chaque pied, les données suivantes ont été récoltées :

- Numéro de prospection attribué lors de l'inventaire d'exploitation ;
- Coordonnées GPS ;
- Nom de l'espèce, identifiée principalement sur base des caractéristiques des folioles (photo 2) telles que présentées par R. Doucet et al., (2022), synthétisées dans le tableau 3 (*Dialium pachyphyllum*, avec des sépales persistant à la base du fruit, n'a pas été trouvée parmi les arbres de plus de 80 cm de diamètre) ;
- Photographie de la plaquette d'identification et du tronc (annexe IIIa,b), des folioles et des éventuels fruits (annexe IIa,b);
- Diamètre (à 1,3m ou au-dessus des contreforts), soit mesuré à l'aide d'un ruban dendrométrique (photo 1), soit estimé en présence de hauts contreforts ;
- Hauteurs du fut au premier défaut, à la première branche et hauteur totale, mesurées à l'aide du clinomètre Suunto© ;
- Informations phénologiques (signe de floraison ou de fructification) ;
- Classe de qualité de l'arbre sur base des critères du tableau 2.

Le diamètre minimum relevé est celui du Diamètre Minimum d'Aménagement fixé par le plan d'aménagement, soit 80 cm (10 cm en plus que le minimum légal). À chaque pied est attribué un identifiant unique basé sur le numéro d'ordre de la collecte et le l'UFA concerné.

Tableau 2: Classes de qualité des fûts

<i>Classe de qualité</i>	<i>Description</i>
<i>Qualité 1</i>	<i>Fût « export », sans défauts rédhitoires, de plus de 12 mètres de longueur</i>
<i>Qualité 2</i>	<i>Fût « export » de qualité moindre, de plus de 6 mètres de longueur</i>
<i>Qualité 3</i>	<i>Fût pouvant faire l'objet d'une transformation locale (longueur insuffisante pour l'export, présence de défauts...) de plus de 4 mètres de longueur</i>
<i>Qualité 4</i>	<i>Fût non valorisable</i>

Les qualités 1, 2, 3 et 4 sont également désignées respectivement Export 1, Export 2, Scierie et Non valorisable. Il faut cependant préciser que la présence de certaines déformations n'altère

pas forcément la qualité générale attribuée au pied, car certaines peuvent être éliminées après sciage.



Photo 1 : Relevé du diamètre par estimation au-dessus des contreforts

La photo 2 présente des folioles de *D. polyanthum*, *D. lopense* et *D. sp. nov.* avec quelques caractéristiques distinctives (autre exemple avec folioles vertes en annexe IV).

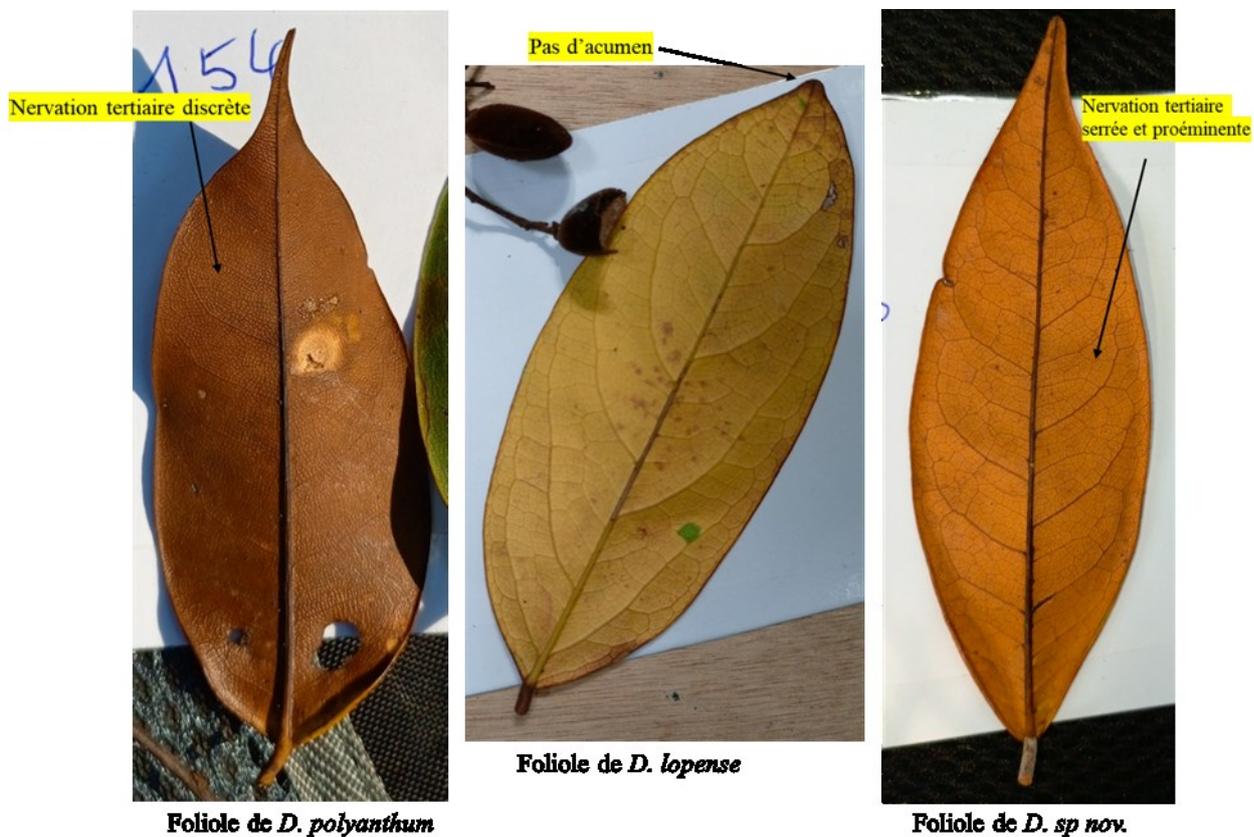


Photo 2: Caractéristiques des folioles d'Omvong

Le tableau 3 présente la clé d'identification utilisée pour la distinction des différentes espèces d'Omvong.

Tableau 3: Clé d'identification des espèces de *Dialium* à 3-5 folioles, de plus de 80 cm de diamètre, des forêts de PW_CEB (R. Doucet et al. 2022)(voir photo 2)

	- Nervation tertiaire serrée et proéminente	2.
1.	- Nervation tertiaire discrète	<i>D. polyanthum</i>
	- Acumen de la foliole terminale aigu, effilé ou rétréci	3.
2.	- Pas d'acumen de la foliole terminale ou acumen obtus	<i>D. lopense</i>
	- Rapport largeur/longueur de la foliole basale : [0,42-0,48]	
	- Largeur de la foliole terminale : [33-44]mm	
	- Rapport largeur/longueur de la foliole terminale : [0,33-0,40]	<i>D. sp. nov.</i>
	- Rapport pétiole/rachis : [0,39-0,67]	
	- Longueur de la foliole terminale/longueur du pétiole : [0,06-0,08]	
3	- Rapport largeur/longueur de la foliole basale : [0,49-0,57]	
	- Largeur de la foliole terminale : [42-62]mm	
	- Rapport largeur/longueur de la foliole terminale : [0,38-0,49]	<i>D. lopense</i>
	- Rapport pétiole/rachis : [0,22-0,30]	
	- Longueur de la foliole terminale/longueur du pétiole : [0,05-0,07]	

2.5.Extraction des données topographiques

Les données relatives à la position topographique de chaque arbre ont été obtenues à l'aide du MNT (Modèle Numérique de Terrain) de copernicus ([European Space Agency, Sinergise, 2021](#)) résolution 30m, ré-échantillonné à 15m. De ce MNT ont été extraites trois informations : l'altitude, l'indice d'humidité topographique (*Topographic Wetness Index - twi*) et une classification topographique. À l'aide du logiciel R et des packages *raster* (Hijmans et al., 2012), *Whitebox* (Lyndsay, 2016) et *landform* (Gianmarco, 2023), ces données ont été obtenues des manières suivantes :

- ❖ **Altitude** : À partir de la fonction *extract* du package *Raster* de R, ainsi que des coordonnées des points d'échantillonnage, les altitudes de chaque arbre sont extraites.

- ❖ **twi** (Topographic Wetness Index) : Les outils hydrologiques du package *Whitebox* fonctionnent sur le principe de l'analyse de l'écoulement de l'eau le long des pentes en fonction de l'élévation des cellules du MNT. Après chargement du MNT, il est premièrement réalisé un traitement des dépressions (creux ou bosses). Il faut ensuite procéder à la détermination du flux de remplissage de l'eau permettant de réaliser par la suite le tracé du twi. Les valeurs de twi associées à chaque pied en fonction des coordonnées GPS, peuvent être ainsi extraites ;
- ❖ **Classe topographique** : une classification basée sur l'IPT (indice de position topographique) a été réalisée grâce au package *landform* de R. Le paysage a ensuite été segmenté à partir des paramètres métriques $sn=3$ (donc 45m) et $ln3=31$ (donc 465m) permettant d'obtenir ainsi 8 classes topographiques. De la même manière que pour le twi, les classes topographiques de chaque arbre sont extraites par la suite.

La figure 8 résume schématiquement les différents traitements effectués.

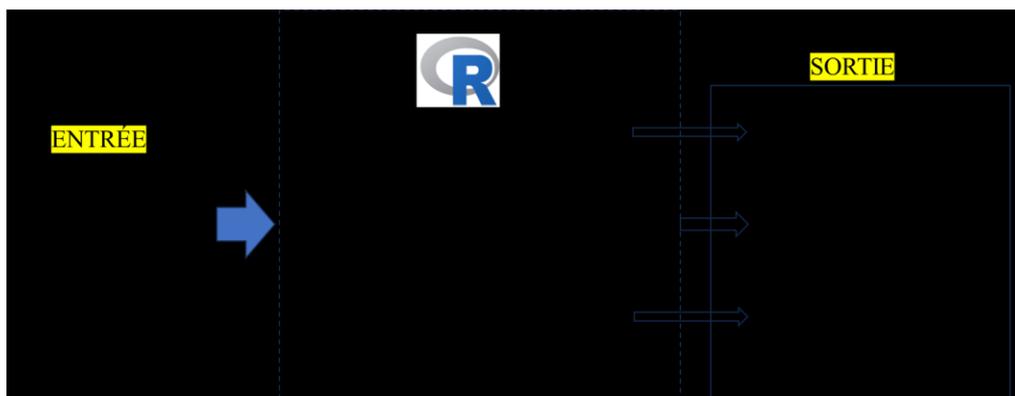


Figure 8: Méthode de détermination des variables

2.6. Traitement des données

2.6.1. Analyse par AAC

Les traitements statistiques et l'élaboration des graphiques ont été réalisés avec le logiciel RStudio (v. 4.2.3). Sur base des données collectées, les variables suivantes ont été calculées dans chacune des AAC et pour chaque espèce :

- ❖ Distribution diamétrique et diamètre moyen par espèce ;
- ❖ Hauteur fût valorisable moyenne par espèce obtenue en retranchant de la hauteur défaut (ou fourche) la hauteur des contreforts ;
- ❖ Proportion des espèces par classe de qualité ;
- ❖ Surface terrière par hectare de chaque (S_i en m^2/ha) ;

$$St = [(d^2 * \pi) / 4] / s$$

Avec d le diamètre (m) et s la superficie de la parcelle (ha) ;

- ❖ Proportion (%) ;
- ❖ Densité (par ha) ;
- ❖ Volume (en m³ /ha) de fût valorisable mesuré à l'aide du tarif de cubage de Bile Allogho (1999) pour *D. pachyphyllum* au Gabon :

$$V = 9.72D^{2.46}$$

Avec D le diamètre en m et V le volume en m³.

Test statistiques

Différents tests statistiques ont été réalisés lors de cette étude. Le test t de Student a servi à comparer les valeurs moyennes de hauteur et de diamètre entre espèces. Le test Khi² de Pearson et le test de Fisher ont permis d'évaluer les liens de dépendance entre les variables espèces et classe de qualité ainsi qu'entre espèce et typologies forestières. Le test de Fisher a été utilisé pour le cas de petits échantillons (moins de 5).

L'analyse de la variance a été utilisée afin d'analyser les différences entre espèces pour les variables densité, surface terrière et volume à l'hectare en combinant les critères espèce et UFA (ANOVA à deux critères de classification). Comme préalable à l'application de l'ANOVA, la normalité des données et l'homoscédasticité des variances ont été vérifiées au travers respectivement des tests de Shapiro et Wilk et de Levene. Le seuil α choisi pour toutes les analyses est celui de 0,05.

2.6.2. Identification des variables écologiques et topographiques influençant la répartition des *Dialium* exploitables

Afin d'identifier les variables influençant la proportion des espèces dans le massif forestier, le modèle de régression logistique a été retenu. L'espèce *D. lopense* ayant des effectifs faibles n'a pas été considérée. Ce modèle permet d'estimer la probabilité qu'un arbre appartienne à une espèce en fonction de différentes variables explicatives. Les variables testées pour expliquer l'espèce sont : le diamètre, la typologie forestière de Rejou-Mechain, la typologie forestière de CEB, l'altitude, le twi et la classe topographique.

Pour chaque variable catégorielle, il est nécessaire au préalable de préciser quelle modalité représente la référence (tableau 4). Le diamètre a été analysé non pas sous forme de valeur continue, mais plutôt sectionné en classe de diamètre.

Tableau 4: Modalités de référence des variables catégorielles du modèle

Variable	Modalité de référence
Espèce	<i>Dialium</i> sp. nov.
Typologie forestière régionale	Forêts atlantiques sempervirentes de l'intérieur
Typologie forestière CEB	Forêt âgée à Okoumé
Classe topographique	Versants
Diamètre	]80 ;90]

La procédure du package *glm* (*Generalized Linear Model*) du logiciel R a été suivie pour construire le modèle de régression logistique retenu. À partir des 5 variables de départ, on obtient un premier modèle peu performant exploratoire. Pour identifier le modèle final, une sélection de type « backward », basée sur le critère AIC (*Akaike Information Criterion*), permet d'obtenir le modèle final offrant un meilleur compromis entre ajustement et complexité. Les résultats du modèle (odds ratios) sont par la suite interprétés.

Le modèle final est quant à lui soumis au test ANOVA afin de déterminer si les variables retenues ont un effet significatif global sur le modèle.

3. RÉSULTATS

3.1. Espèces présentes et caractéristiques

3.1.1. Espèces identifiées

La réidentification des espèces d'Omvong inventorié par les prospecteurs lors de l'inventaire d'exploitation a permis de mettre en évidence la présence, au sein des parcelles d'échantillonnage, de trois espèces de *Dialium* à savoir *Dialium* sp. nov., *Dialium polyanthum* et *Dialium lopense*. Le nombre de pieds observé a été respectivement de 247, 141 et 3 pour un effectif global de 391 pieds.

Vu le faible nombre de pieds de il ne serait pas judicieux d'envisager leur exploitation. Ceux-ci sont donc exclus des analyses suivantes.

3.1.2. Diamètre et hauteur

Le tableau 5 compare les valeurs moyennes de diamètre et de hauteur de *Dialium* sp. nov. et *D. polyanthum* exploitables dans les UFA de CEB-PW.

Les pieds de l'espèce *Dialium*. sp. nov. ont un diamètre moyen supérieur à ceux de *Dialium polyanthum* mais pour le paramètre hauteur les individus de l'espèce *Dialium polyanthum* présentent une hauteur moyenne plus élevée.

Tableau 5 : Diamètre et hauteur par espèce

<i>Espèce</i>	<i>Diamètre (cm)</i>	<i>Hauteur (m)</i>
<i>Dialium</i> sp. nov.	93,37 ± 12,47	7,02 ± 2,62
<i>Dialium polyanthum</i>	92,46 ± 13,96	7,12 ± 3,07
<i>Test T</i>	$p = 0,51$ (t = - 0,64)	$p = 0,72$ (t = 0,34)

Il apparait cependant que le diamètre moyen n'est pas significativement différent entre espèces, et il en est de même pour les hauteurs moyennes.

Les structures diamétriques (annexe V) chez les deux espèces indiquent que la classe la plus représentée est celle des tiges de diamètre compris entre 80 et 90 cm.

3.1.3. Qualité

Le tableau 6 présente les données relatives aux différentes classes de qualité.

Les quatre classes de qualité définies dans le plan d'aménagement ont été observées dans les parcelles d'étude. Sur l'ensemble des *D. sp. nov.* identifiés, 56% ont été classés comme qualité

1 contre 65% des pieds pour *D. polyanthum*. En combinant les classes 1 et 2, qui représentent les classes les plus recherchées et les plus valorisables pour l'entreprise, c'est plus de 80% des pieds de *D. polyanthum* qui présentent une qualité intéressante.

Tableau 6: Comparaison de la qualité des arbres des deux espèces de *Dialium* exploitable (proportion de pieds)

Qualité	<i>Dialium</i> sp. nov. (%)	<i>Dialium polyanthum</i> (%)
1	56,28	65,25
2	25,1	14,89
3	16,6	13,48
4	2,02	6,38

Concernant les défauts visibles, il a été principalement observé sur les pieds des déformations de type bosses, courbures, méplats, loupe (tumeur ligneuse), fentes, etc. Ces déformations ont été relevées sur environ 41% des pieds de *D. polyanthum* et sur plus de 53% des effectifs de *D. sp. nov.*

Bien que *D. polyanthum* ait une proportion plus élevée que *D. sp. nov.* d'arbre de qualité 1, un test Khi^2 de Pearson confirme que la qualité des arbres n'est pas significativement différente selon les espèces ($\text{Khi}^2 = 1,5$, $p = 0.682$). Les densités et volumes de *D. polyanthum* des deux premières qualités sont respectivement de 0.09 tige/ha et de 0.71m³/ha dans la zone d'étude.

3.1.4. Phénologie

Les données sur l'état phénologique basé sur la présence de fruit ont permis de construire la figure 9 à partir d'un effectif total de 265 pieds sur les 391 échantillonnés. Elle met en évidence une proportion plus importante d'arbres en fructification dans la classe de diamètre]90 ;100] cm pour *D. polyanthum* et *D. sp. nov.*

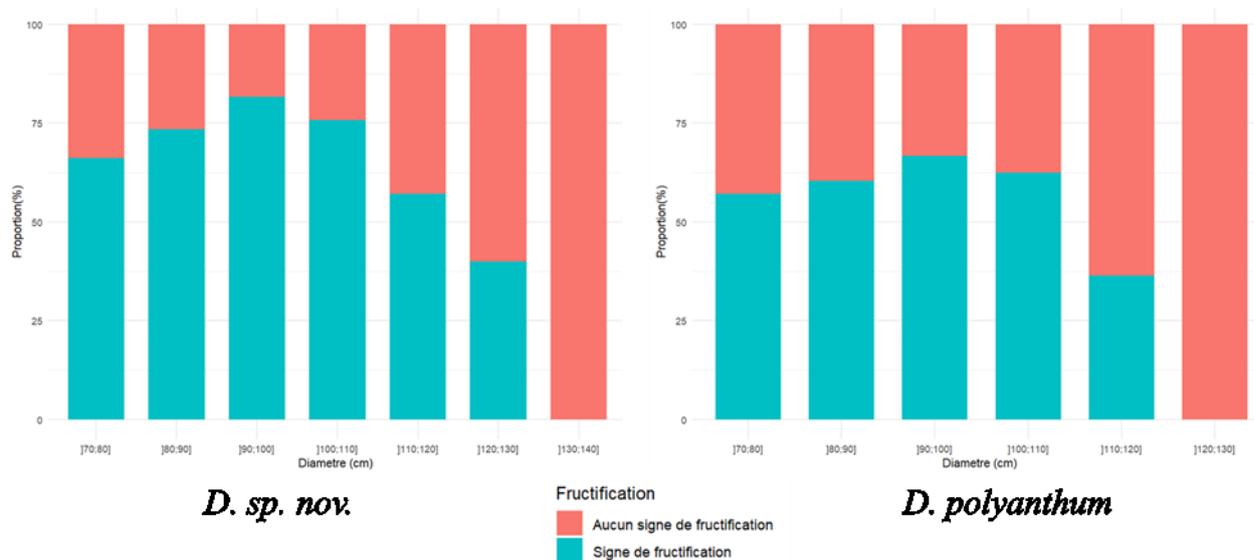


Figure 9: Proportion d'arbres en fruit par espèce

Les arbres en fleur ont été observés les premières semaines de prospection et n'ont représenté qu'un effectif de 8 pieds (3 de *D. polyanthum* et 5 de *D. sp. nov.*).

3.2. Influence des UFA

3.2.1. Proportion par espèce

Le tableau 7 compare les proportions des deux espèces selon les UFA. Au niveau de l'UFA de Bambidie, l'écart de proportion est plutôt élevé, avec l'espèce *D. sp. nov.* représentant près de 75% des effectifs d'Omvong exploitable.

Un test Khi^2 de Pearson confirme que les AAC influencent significativement les proportions des deux espèces dominantes ($\text{Khi}^2 = 15,78$, $p = 0,00037$).

Tableau 7: Test d'indépendance des variables site et espèce

label	variable	species		test
		<i>D. sp. nov.</i>	<i>D. polyanthum</i>	
AAC	Bambidie	132 (74,16%)	46 (25,84%)	p value: <0.001 (Pearson's Chi-squared test)
	Lelama	28 (52,83%)	25 (47,17%)	
	Okondja	87 (55,41%)	70 (44,59%)	

3.2.2. Densité, surface terrière et volume

3.2.2.1. Calcul des moyennes par UFA

Le tableau 8 présente les densités, surface terrière et volume moyen de chaque espèce par UFA.

Tableau 8: Comparaison des densités, surface terrières et volumes moyens des deux espèces de *Dialium* exploitables dans les UFA de CEB-PW.

	Densité (tige/ha)		Surface terrière (m ² /ha)		Volume moyen (m ³ /ha)	
	<i>D. sp. nov.</i>	<i>D. polyanthum</i>	<i>D. sp. nov.</i>	<i>D. polyanthum</i>	<i>D. sp. nov.</i>	<i>D. polyanthum</i>
Bambidie	0,35±0,30	0,10±0,07	0,24±0,20	0,06±0,04	2,95±2,52	0,75±0,48
Okondja	0,27±0,23	0,20±0,10	0,17±0,14	0,13±0,07	2,13±1,65	1,68±0,89
Lelama	0,18±0,16	0,22±0,20	0,11±0,10	0,16±0,15	1,40±1,19	2,03±1,95
Global	0,27±0,23	0,17±0,12	0,18±0,15	0,12±0,09	2,16±1,79	1,49±1,11

Les densités à l'hectare de l'espèce *D. sp. nov.* sont plus grandes que celle de *D. polyanthum*, cette différence est dotant plus observable au niveau de l'UFA de Bambidie. L'UFA de Lelama est celle ayant la densité la plus élevée de l'espèce *D. polyanthum*.

Pour la surface terrière (m²/ha), l'espèce *D. sp. nov.* a une surface terrière à l'hectare globalement plus élevée par rapport à l'espèce *D. sp. nov.* pour l'ensemble de la surface échantillonnée. Il en est de même les résultats du calcul des volumes, *D. sp. nov.* a des moyennes plus élevées.

Il ressort donc que l'espèce *D. sp. nov.* est globalement plus abondante au sein de toutes les UFA que l'espèce *D. polyanthum*. Cependant, le calcul du volume moyen par arbre a donné pour *D. sp. nov.* 8,45±0.41 m³ et pour *D. polyanthum* 8,49±0.73 m³ par arbre.

3.2.2.2. Analyse de la variance

Les résultats issus des tests de Levene et de Shapiro et Wilk ont montré que pour les trois variables, les données suivent la loi normale ainsi que l'homoscédasticité des variances sauf pour les données de l'espèce *D. sp. nov.* dans l'UFA de Bambidie (annexe VI). Le test de Kruskal wallis réalisé par la suite a permis de de valider les résultats de l'ANOVA bien que l'homoscédasticité ne soit pas validé dans le cas de certaines données.

Le tableau 9 présente les résultats des tests anova réalisé pour les variables densité, surface terrière et volume.

Tableau 9: Résultats du test ANOVA

	Densité (<i>p</i>)	Surface terrière (<i>p</i>)	Volume (<i>p</i>)
Espèce	0,025*	0,024*	0,024*
UFA	0,86	0,89	0,89
Espèce x UFA	0,174	0,91	0,76

Les résultats de l'analyse de la variance pour les critères UFA et espèce ont permis d'observer des différences significatives de volume, de densité et de surface terrière entre les espèces. Cependant, il n'a pas été observé de différence significative entre les UFA pour ces différentes variables. De même, la combinaison des critères espèces et UFA ne donne également pas de différences significatives. On peut conclure à l'absence d'interaction entre les deux facteurs, probablement en raison de la forte variabilité des densités.

Les graphiques de comparaison entre espèces pour les moyennes des différentes variables sont présentés à la figure 10, les résultats par UFA sont disposés en annexe VII.

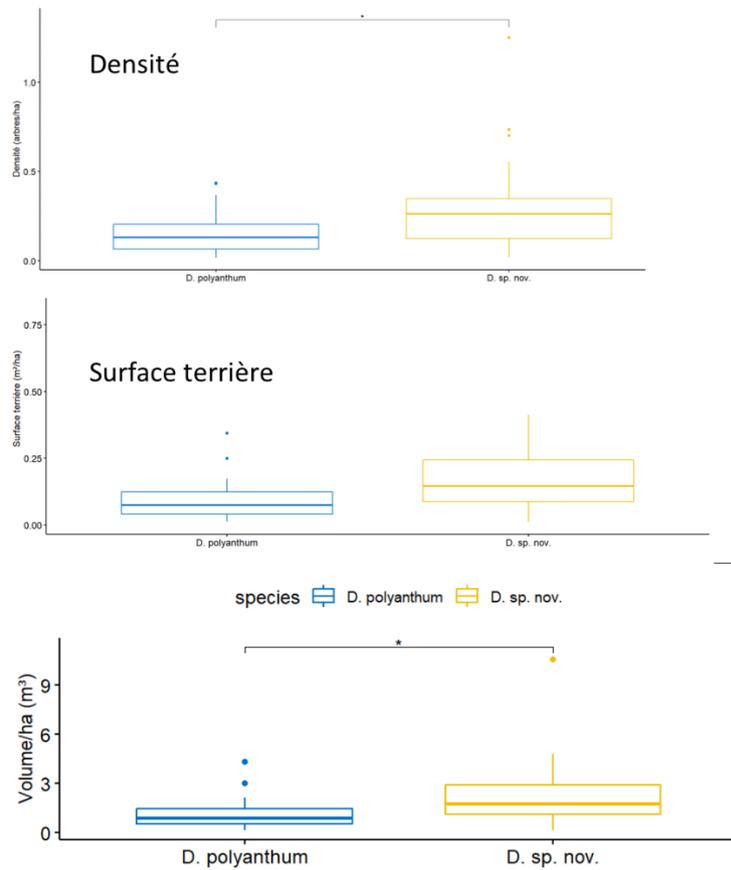


Figure 10: Représentation graphique des moyennes de densité, surface terrières et volume

3.2.2.3. Analyse des densités et volume par classe de diamètre

Les tableaux suivants présentent les densités (tableau 10) et volumes (tableau 11) par classe de diamètre de chaque espèce pour chaque UFA.

Tableau 10: Densité par classe de diamètre

Densité (tige/ha)		[70;80]	[80;90]	[90;100]	[100;110]	[110;120]	[120;130]	[130;140]
BAMBIDIE	<i>D. polyanthum</i>	0,033	0,027	0,014	0,010	0,006	0	0
	<i>D. sp. nov.</i>	0,059	0,082	0,059	0,035	0,012	0,008	0,002
OKONDJA	<i>D. polyanthum</i>	0,038	0,092	0,044	0,025	0,019	0,003	0
	<i>D. sp. nov.</i>	0,076	0,082	0,076	0,035	0,003	0,003	0
LELAMA	<i>D. polyanthum</i>	0,024	0,020	0,036	0,012	0,008	0	0
	<i>D. sp. nov.</i>	0,032	0,040	0,024	0,016	0	0	0
DENSITÉ TOTALE		0,091	0,116	0,084	0,045	0,016	0,005	0,000
MOYENNE 3 SITES	<i>D. polyanthum</i>	0,027	0,023	0,029	0,011	0,007	0	0
	<i>D. sp. nov.</i>	0,056	0,068	0,053	0,029	0,005	0,004	0,001

L'examen des densités par classe de diamètre met en exergue que les arbres ayant une densité générale à l'hectare plus élevée se situent, pour les deux espèces, dans la classe de diamètre de]80;90] avec 0,116 tige/ha.

Tableau 11: Volume par classe de diamètre

Volume (m ³ /ha)		]70;80]	]80;90]	]90;100]	]100;110]	]110;120]	]120;130]	]130;140]
BAMBIDI	<i>D. polyanthum</i>	0,185	0,190	0,124	0,109	0,077	0	0
	<i>D. sp. nov.</i>	0,326	0,576	0,534	0,403	0,167	0,136	0,0404
OKONDJA	<i>D. polyanthum</i>	0,213	0,640	0,389	0,295	0,265	0,052	0
	<i>D. sp. nov.</i>	0,425	0,588	0,692	0,398	0,043	0,054	0
LELAMA	<i>D. polyanthum</i>	0,136	0,143	0,348	0,143	0,111	0	0
	<i>D. sp. nov.</i>	0,181	0,283	0,221	0,188	0	0	0
VOLUME MOYEN		0,212	0,346	0,332	0,219	0,095	0,035	0,006

Comme observé au niveau des densités, c'est également la classe de diamètre]80 ;90] qui présente les volumes les plus élevés. Au sein de cette classe, *D. polyanthum* a un volume moyen supérieur à celui de *D. sp. nov.* au niveau de l'UFA d'Okondja contrairement aux autres UFA. Le volume global obtenu pour l'ensemble de la superficie échantillonnée pour l'espèce *D. polyanthum* est de 1157,03 m³ contre 2031,69 m³ pour *D. sp. nov.*

3.3. Analyse des paramètres de distribution des espèces.

3.3.1. Répartition suivant le twi

Sur l'ensemble de la concession forestière (figure 11), le twi moyen est de -5.5, le minimum est de -9,7 (zone très sèche, sommet ou crêtes) et le maximum est de 52 (larges zones de cours d'eau majeur tel que les fleuves comme l'Ogooué.

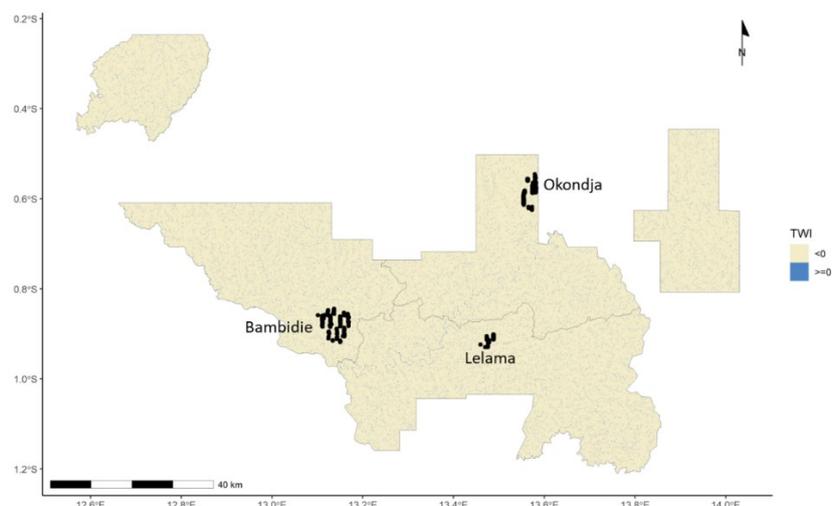


Figure 11: Classification twi de la concession

Au niveau des pieds inventoriés, les valeurs de l'indice varient entre -8,45 et 6,33. Les arbres échantillonnés ont majoritairement été observés dans des valeurs entre -8 et -4 correspondant à des zones relativement sèches de drainage naturel dû par exemple à la pente. Quelques individus ont été observés à des valeurs supérieures à 0 dont majoritairement des individus de l'espèce *D. polyanthum* (figure 12).

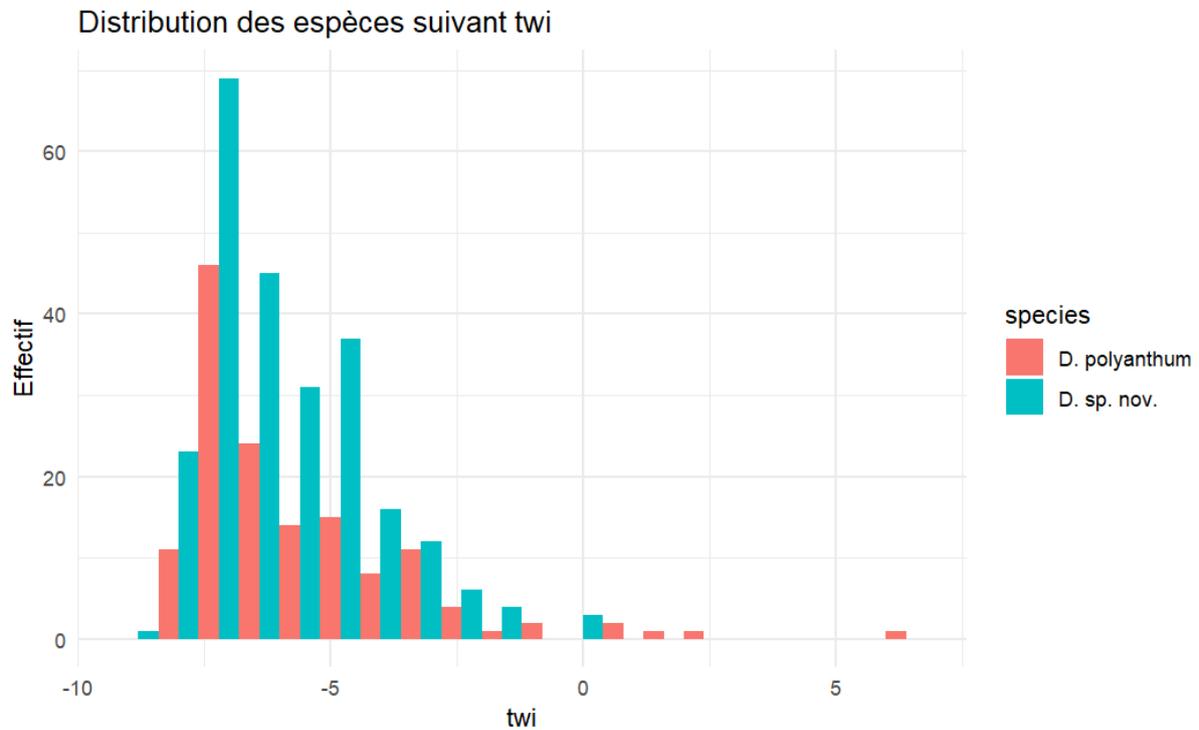


Figure 12: Distribution des espèces suivant le twi

3.3.2. Répartition suivant l'altitude

La classification cartographique de l'altitude sur toute l'étendue de la CFAD représente assez bien les variations d'altitude caractérisant le paysage. Pour l'ensemble de la concession, l'altitude moyenne est de 364m, le minimum de 203m et le maximum de 689m. La zone nord de la concession notamment dans la région d'Okondja abrite les points les plus élevés culminants à plus de 600m d'altitude (figure 13).

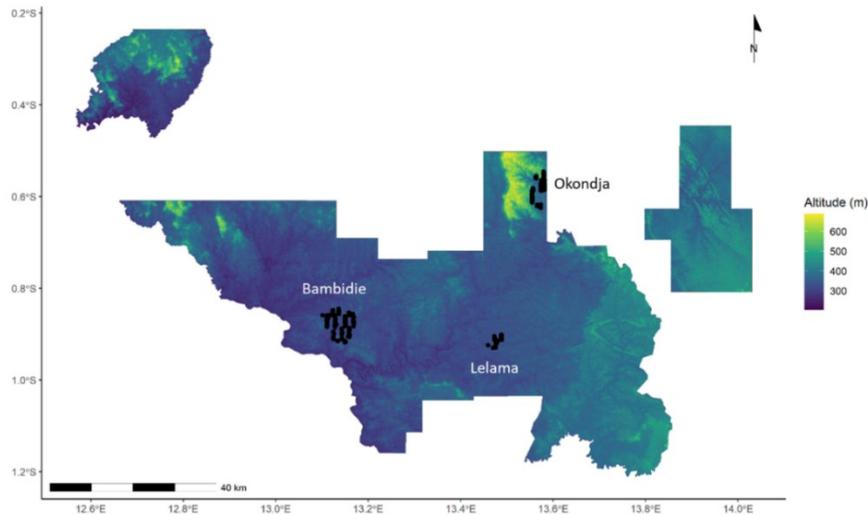


Figure 13: Classification altitude de la concession

Les valeurs d'altitudes au niveau des arbres échantillonnés varient entre 297 et 519 m avec une moyenne de 371m. Les deux espèces ont été observées à des altitudes principalement de 325 à 350m pour la plus grande part et dans une moindre mesure à des altitudes entre 450 et 475m (figure 14).

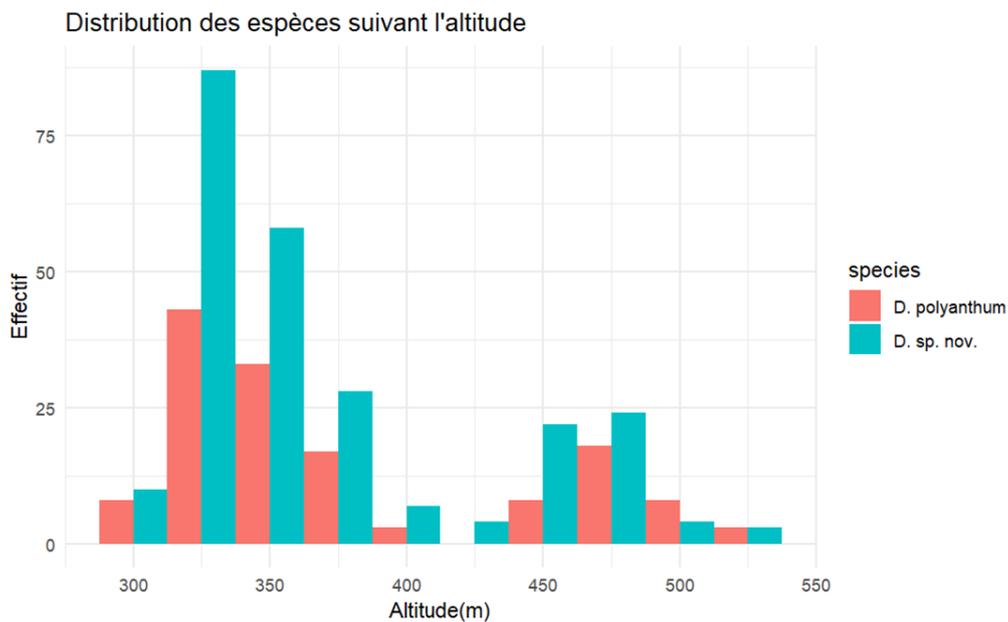


Figure 14: Distribution des espèces suivant l'altitude

3.3.3. Répartition suivant la classe topographique

À l'échelle de la concession, la classification cartographique a permis de mettre en évidence 8 types topographiques (figure 15). Les classes identifiées au sein de la concession sont les Mesas, Plaines, Versants, Vallées en U, Canyons, Drainages abrupts, Sommets, Crêtes de milieu de

penne-collines en plaine. Les plus représentés sont les versants, plaines et vallées qui dominent l'ensemble du paysage de toutes les UFA. Les versants sont plus observables dans la zone d'Okondja. Les Vallées peu profondes-drainage de milieu de pente ainsi que les Crêtes locales-collines en vallées n'ont pas été identifiées au sein de la CFAD.

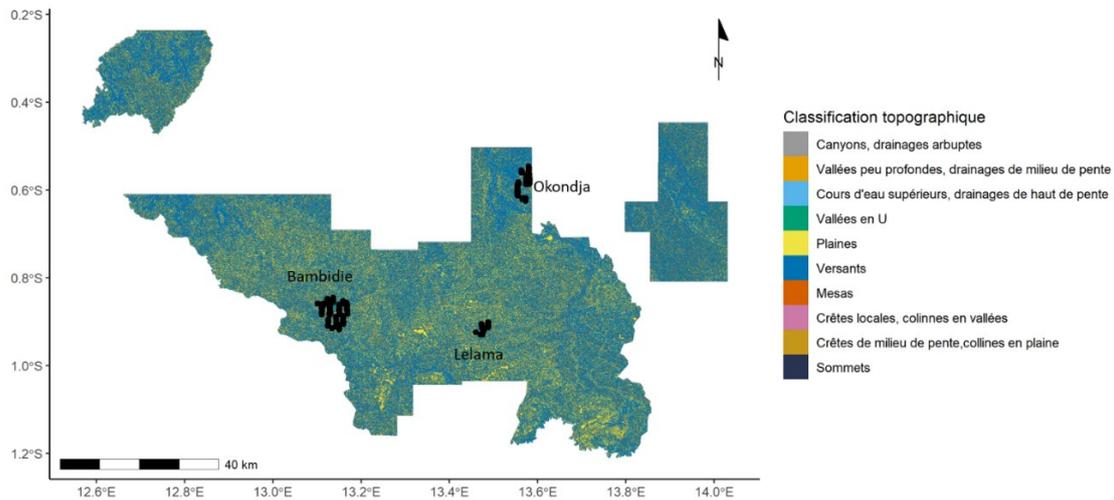


Figure 15: Classification topographique de la concession

La distribution des pieds d'Omvongs est présentée dans la figure 16.

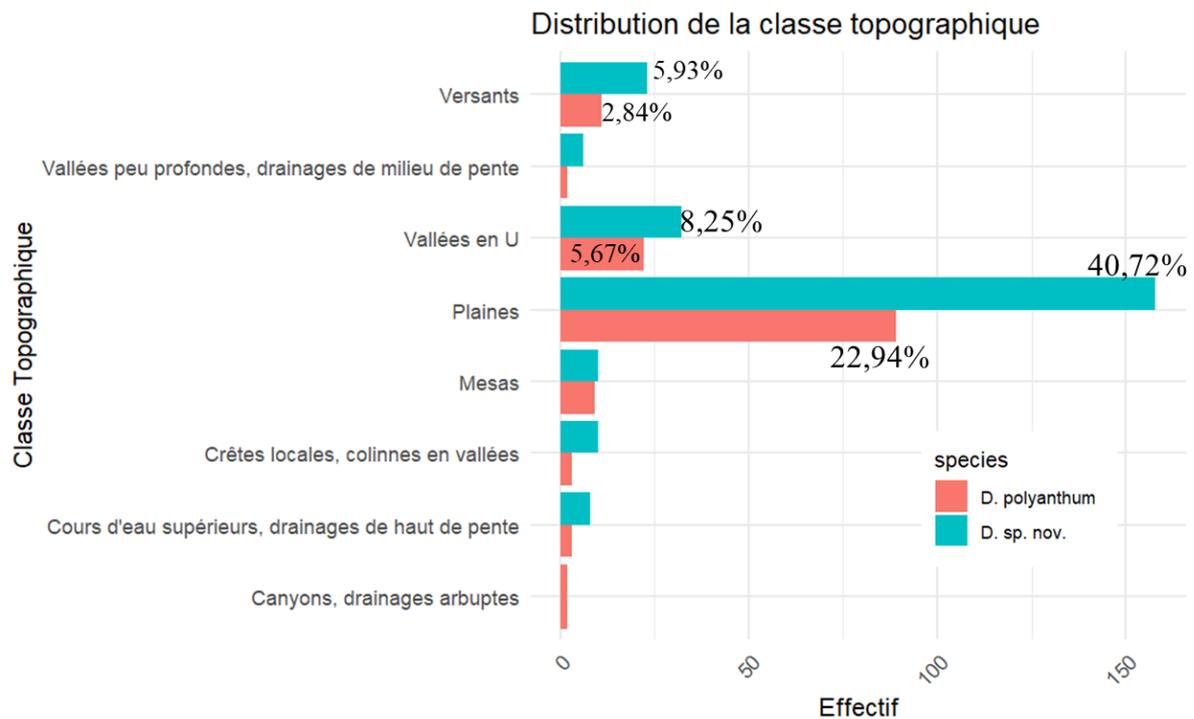


Figure 16: Distribution des espèces suivant la classe topographique

À l'échelle des arbres, les pieds ont été majoritairement identifiés dans les zones dites de « plaine » avec plus de 60% de l'effectif échantillonné. Une part également non négligeable (environ 20%) a été enregistrée au niveau des « vallées en U » ainsi que des « versants ». Le test de Fisher effectué montre qu'il n'y a pas de différences significatives dans la distribution des espèces suivant la classe topographique (Test Fisher, $p=0.504$).

3.3.4. Répartition des *Dialium* suivant la typologie forestière Rejou-Mechain

La classification cartographique selon la typologie forestière Rejou-Mechain (figure 17) a mis en évidence la présence de deux grands types forestiers au sein de la concession CEB_PW. Il s'agit des forêts atlantiques sempervirentes de l'intérieur et des forêts sempervirentes mixtes (occupant la plus grande étendue de la concession).

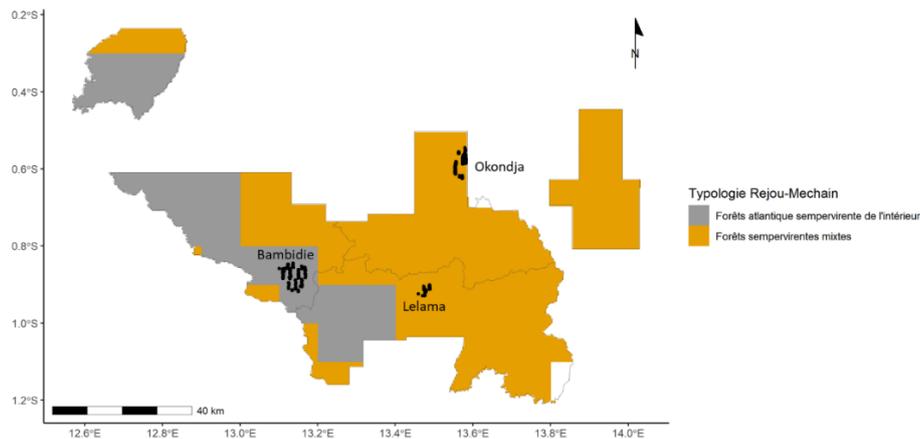


Figure 17: Classification typologie forestière Rejou-Mechain et al., (2021)

La figure 18 présente la distribution des pieds inventoriés suivant la typologie forestière Rejou-Mechain.

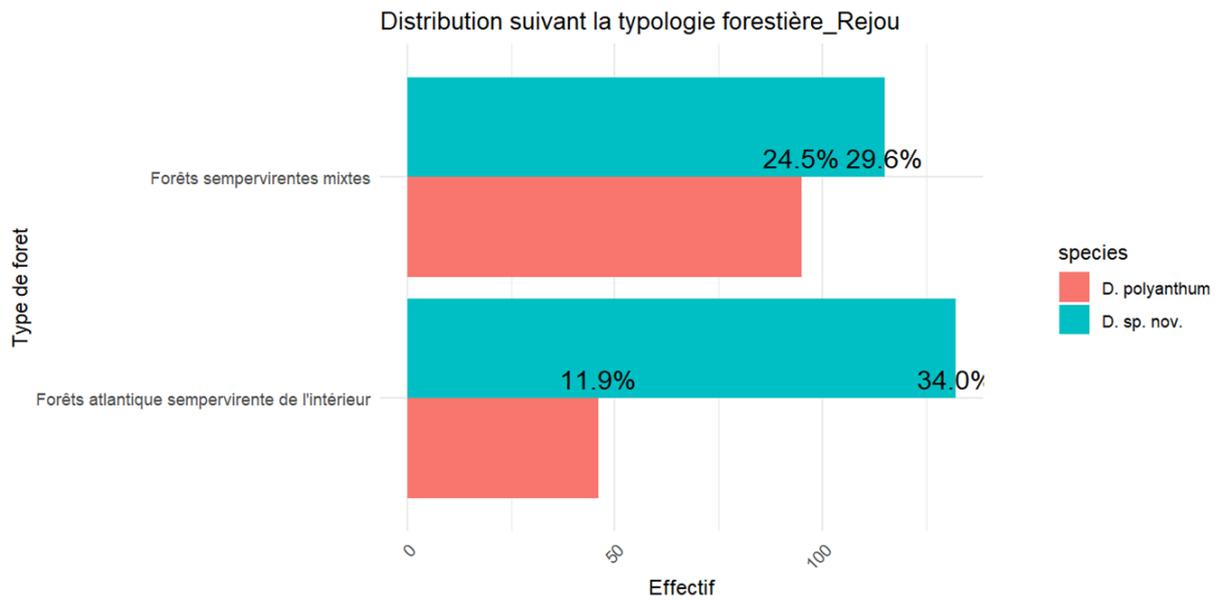


Figure 18: Distribution des espèces suivant la typologie forestière Rejou-Mechain

Dans les forêts sempervirentes mixtes, les proportions sont très similaires, tandis que dans les forêts atlantiques *D. sp. nov.* est dominante. Un test Khi^2 réalisé (tableau 12) confirme des différences significatives (Khi^2 , $p=0.0001$).

3.3.5. Répartition des *Dialium* suivant la typologie forestière CEB

La figure 19 donne les proportions des deux espèces selon les quatre types forestiers définis par CEB. Dans trois des types forestiers, les proportions des deux espèces sont proches. Par contre dans la forêt âgée à okoumé, l'espèce *D. sp. nov.* domine. Un test Khi^2 (tableau 12) permet de confirmer l'existence d'un lien de dépendance entre le type forestier CEB et la répartition des espèces (Khi^2 , $p=0.0012$).

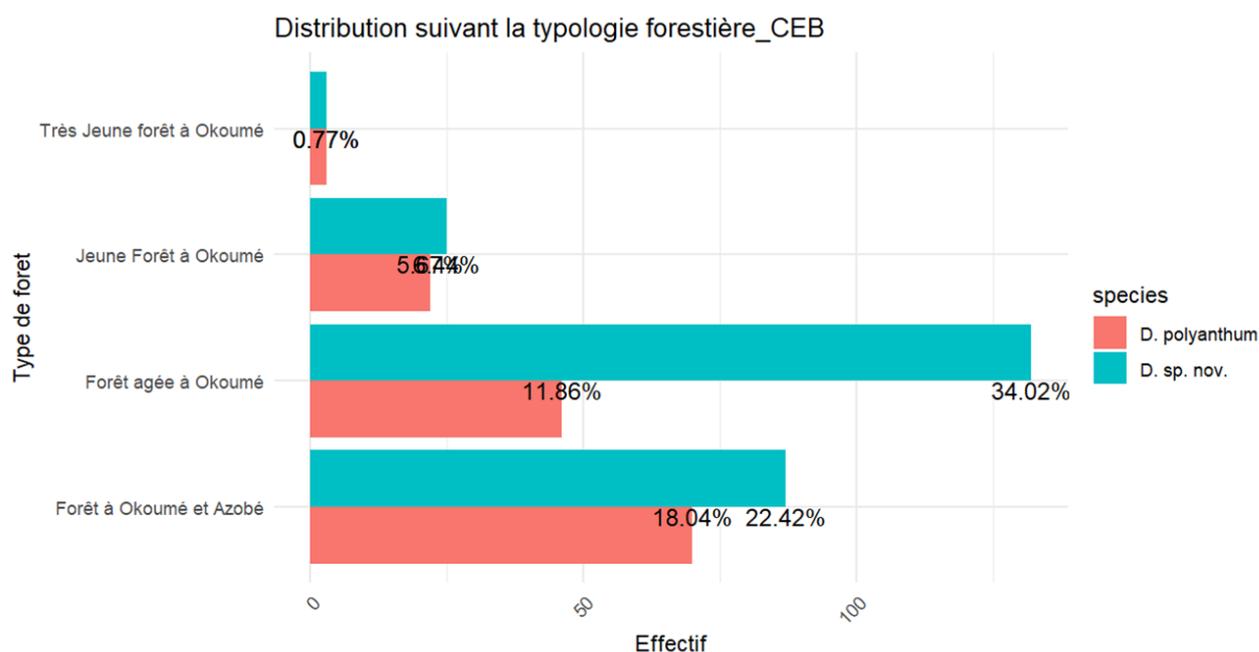


Figure 19: Distribution des espèces suivant le type forestier CEB

Le tableau 12 présente les résultats obtenus à l'issue des tests χ^2 de Pearson et Fisher vérifiant les liens de dépendance entre les typologies forestières CEB et Rejou Mechain et al. (2021) et la distribution des espèces.

Tableau 12: Test d'indépendance du type de forêt et l'espèce

Label	Variable	species		test
		<i>D. polyanthum</i>	<i>D. sp. nov.</i>	
typo_rejou	Forêts atlantiques sempervirentes de l'intérieur	46 (25.84%)	132 (74.16%)	p value<0.001 (Pearson's Chi-squared test)
	Forêts sempervirentes mixtes	95 (45.24%)	115 (54.76%)	
typo_ceb	Forêt à Okoumé et Azobé	70 (44.59%)	87 (55.41%)	p value<0.001 (Fisher's Exact Test for Count Data)
	Forêt âgée à Okoumé	46 (25.84%)	132 (74.16%)	
	Jeune Forêt à Okoumé	22 (46.81%)	25 (53.19%)	
	Très jeune forêt à Okoumé	3 (50.00%)	3 (50.00%)	

3.4. Modèle de régression logistique

En appliquant la sélection "backward" sur le modèle exploratoire, le second modèle retenu est basé sur les variables Typologie forestières CEB, altitude et le twi.

Les OR (odds ratios) obtenus sur le modèle final (tableau 13) affichent des valeurs différentes de 1 pour toutes les variables permettant de conclure dans un premier temps que les variables pourraient avoir un effet sur le modèle. Cependant, l'analyse des p-values pour chacun des OR montre que seuls deux de ces odds ratios ([Forêt à Okoumé et Azobé] et [Jeune Forêt à Okoumé]) sont significativement différents de 1. Ainsi comparativement à la référence "Forêt âgée à Okoumé", la probabilité de rencontre de l'espèce *D. polyanthum* est plus importante dans les "Forêts à Okoumé et Azobé" ainsi que dans les "Jeunes Forêt à okoumé".

Tableau 13:Significativité des variables explicatives

<i>Predictors</i>	Species			
	<i>Odds Ratios</i>	<i>CI</i>	<i>p</i>	
(Intercept)	3,94	0,51 – 31,72	0,192	
Typologie forestière_CEB	[Forêt à Okoumé et Azobé]	4,16	1,97 – 8,93	<0,001
	[Jeune Forêt à Okoumé]	2,74	1,40 – 5,38	0,003
	[Très jeune forêt à Okoumé]	2,91	0,52 – 16,31	0,202
Altitude	0,99	0,99 – 1,00	0,051	
Topographic Wetness Index (twi)	1,09	0,98 – 1,22	0,112	
Observations	387			

L'odds ratios du twi (tableau 12) présente une p-value > 0,05 signe que ce dernier n'est pas significativement différent de 1, mais aurait une tendance à être supérieur à 1. La variable twi ne permet pas de prédire ainsi l'occurrence de l'espèce *D. polyanthum*.

La variable altitude a un odds ration de 0,99 très proche de 1 et ceci se répercute également sur sa p-value qui est très proche de 0,05. Dans le cas de l'altitude, l'odds ratio est calculé par unité d'altitude pour une variation d'1m ce qui représente une amplitude des valeurs assez élevée. Il est donc normal que l'odds ratio soit très proche de 1. Bien que la p-value de 0,051 soit très sensiblement supérieure à 0,05 on peut cependant conclure à un effet significatif de la variable altitude sur le modèle.

Le test anova de l'effet global des variables sur le modèle donne des valeurs finales de probabilité présentées dans le tableau 14. Il ressort de ce test que les variables Typologie forestières-CEB et altitude ont un effet sur le modèle final contrairement à la variable twi.

Tableau 14:Test de l'effet global des variables sur le modèle

<i>Variable</i>	<i>Df</i>	<i>Pr(>chisq)</i>
Typologie forestière CEB	3	<0.001
Altitude	1	0.049
twi	1	0.11

Une visualisation graphique de l'effet des variables prise individuellement (figure 20) permet de mieux se représenter l'incidence de chacune de ces variables sur la distribution des espèces. L'analyse du graphe typologie forestière_ceb montre bien que la probabilité de rencontrer l'espèce *Dialium polyanthum* augmente dans les forêts de type "Forêts à Okoumé et Azobé" ainsi que dans les "Jeunes Forêt à okoumé". Dans les "Très Jeunes Forêts à Okoumé" elle est également relativement haute, mais avec un écart-type important, créant un chevauchement avec l'abondance de l'espèce de référence *Dialium* sp. nov.

Les graphes altitude et twi font ressortir que la probabilité que l'arbre inventorié soit *D. polyanthum* plutôt que *D. sp. nov.* diminue avec l'augmentation de l'altitude pendant qu'elle augmente sensiblement avec les valeurs élevées de twi. Cependant, l'écart-type élevé observé au niveau du twi apporte une certaine nuance à cet effet de la variable sur la distribution de l'espèce.

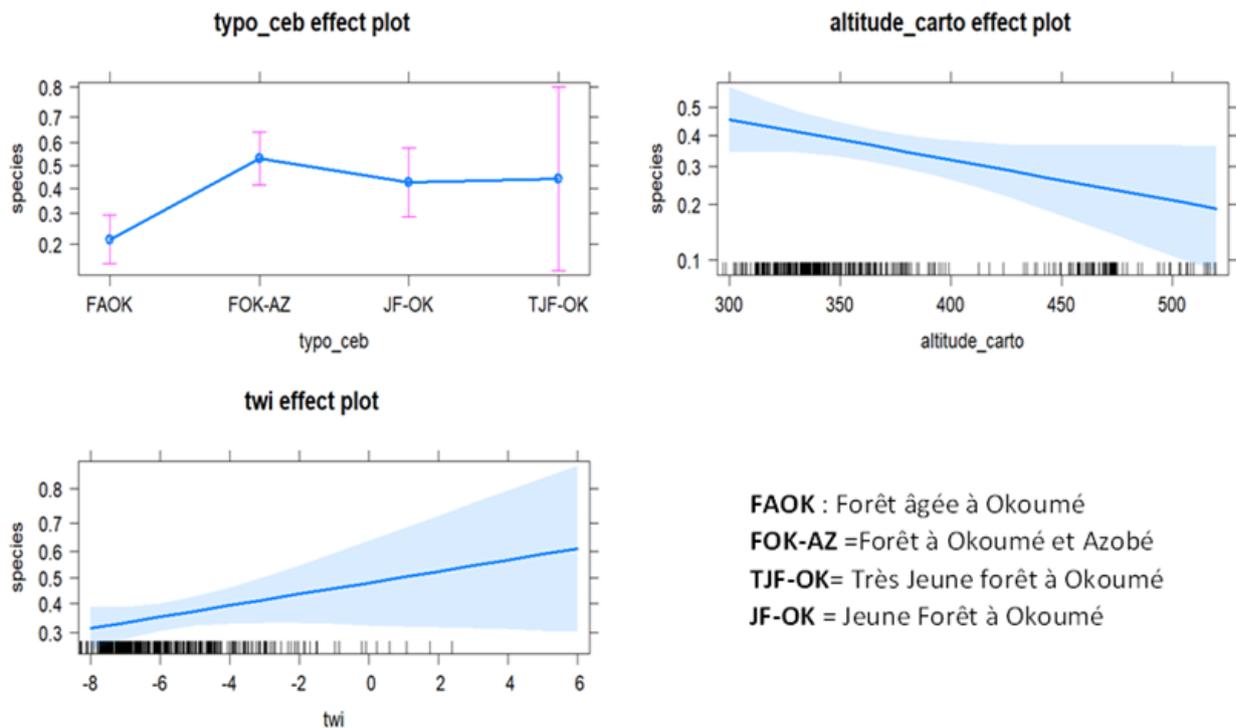


Figure 20: Effet des variables explicatives sur la variable espèce

L'ensemble des résultats issus du modèle permettent de conclure que la probabilité qu'un Omvong identifié dans l'inventaire d'exploitation soit *D. polyanthum* est plus élevée dans les Forêts à okoumé et Azobé alors que la probabilité que l'espèce soit *D. sp. nov.* est plus élevée dans les Forêts âgées à okoumé. De plus, les deux espèces présentent également de légères différences de distribution liée à l'altitude et à l'humidité. La probabilité d'observer *D. polyanthum* est plus grande en basse altitude dans des zones plus humides contrairement à *D. sp. nov.*

4. DISCUSSION

4.1. Espèces de *Dialium* exploitables identifiées et caractéristiques

Cette étude a mis en évidence la présence de trois espèces d'Omvong dépassant 80 cm de diamètre. *D. pachyphyllum*, également présent dans la zone, ne semble pas atteindre ce diamètre. *D. lopense* a été inventorié à de faibles densités et volumes : 0,006 tige/ha et 0,02 m³/ha. Considérant son endémisme restreint, il ne nous semble pas pertinent de l'exploiter.

L'un des premiers éléments entrants dans la sélection d'un arbre pour l'exploitation lors des inventaires est celui du diamètre. Les résultats issus de l'étude ont permis de montrer l'inexistence de différence significative entre les deux principales espèces de *Dialium* concernant ce paramètre. Les structures diamétriques chez les deux espèces indiquent que la classe la plus représentée est celle des tiges de diamètre compris entre 80 et 90 cm. Bien que ces résultats ne tiennent pas compte de la régénération, des études basées sur l'analyse de la distribution diamétrique complète des *Dialium* ont déjà montré que certaines espèces de *Dialium* disposent d'une structure favorable à une exploitation durable. À l'inverse d'espèces dont les propriétés technologiques semblent proches (par exemple l'Azobé, *Lophira alata*), les populations de *Dialium* affichent des structures de population particulièrement favorables à une reconstitution de la ressource sur le long terme (Biwolé et al., 2019 ; Bibang et al., 2021).

La sélection des arbres est basée également sur la hauteur-fût valorisable des arbres et pour ce critère, il n'a été observé aucune différence significative entre les espèces de *Dialium* rencontré bien que *D. polyanthum* ait une hauteur moyenne plus élevée.

Une part importante des *Dialium* rencontré lors de cette étude a présenté de manière globale une qualité, selon les normes CEB, plutôt intéressante permettant de les classer dans la catégorie des arbres destinés à l'export. Les deux espèces ne présentent pas de différence significative entre leur proportion des différentes classes de qualités. L'espèce *D. polyanthum* est cependant celle ayant une proportion plus élevée de pieds de bonne qualité et présentant le moins de défauts, bien que plus sensibles aux pourritures. Il faut souligner que cet aspect de qualité est basé uniquement sur des critères morphologiques relatifs et ne traduit pas forcément la véritable qualité du bois obtenue après débitage. En effet, cette qualité attribuée lors de l'inventaire d'aménagement ne se base que sur les critères visibles. Elle s'appuie sur l'observation de l'aspect externe des bois, aussi bien qualitative (altérations, singularités), que quantitative (diamètre, décroissance, courbure, méplats) (Thomas, 2000). À partir de la seule observation des arbres sur pied, il est évidemment difficile de prévoir la qualité du bois alors que l'on en

voit que son l'écorce (Thomas, 2000). Elle ne tient donc pas compte d'autres aspects internes non négligeables. La qualité des bois recouvre l'ensemble des propriétés (propriétés anatomiques, chimiques, physiques, mécaniques, durabilité naturelle, imprégnabilité ...) qui conditionnent les aptitudes technologiques du matériau (Nepveu, 1994; Thomas, 2000). L'estimation visuelle de la qualité du fût reste cependant parmi l'un des premiers critères utilisés lors des inventaires permettant une évaluation des arbres valorisables. La qualité des arbres joue un rôle crucial sur l'exploitation de ces derniers. Dans un contexte gabonais ou l'exportation des grumes est prohibé et que les entreprises se doivent de faire au moins une transformation locale avant l'exportation, il est nécessaire que les arbres exploités soient bien conformés afin d'assurer un assez bon rendement scierie. Les densités et volume de *D. polyanthum* des deux premières qualités respectivement de 0.09 tige/ha et de 0.71m³/ha dans la zone d'étude peuvent également permettre de soutenir une exploitation rentable et durable de l'espèce.

Un autre élément très important en vue de garantir la durabilité de l'exploitation est la prise en compte des diamètres de fertilité. Compte tenu du fait que le travail de terrain s'est effectué durant la période de floraison et de fructification, les relevés phénologiques ont mis en évidence que plus de la moitié des populations de *Dialium polyanthum* et sp. nov. était fertile dès 70 cm de diamètre. Le diamètre minimum d'exploitabilité prévu par CEB-Pw, à savoir 80 cm, est donc compatible avec le maintien d'un nombre suffisant de semenciers.

4.2. Effet des UFA sur les paramètres

La variabilité observée des proportions relatives des deux autres espèces est principalement liée au type forestier comme cela a été démontré par les différents tests statistiques effectués. Ces différences sont également observables au niveau des densités qui varient d'un site à l'autre. Bibang et al. (2021) confirment que les densités varient selon le type forestier, elles sont plus élevées en forêts sempervirentes qu'en forêts semi-décidues. Ces variabilités de densités suivant le type forestier peuvent donc être liées aux caractéristiques des forêts, en lien avec des variables climatiques, topographiques et édaphiques.

L'évaluation des effectifs, densités et volumes en Omvong exploitable devrait se baser exclusivement sur *D. polyanthum*, espèce véritablement valorisable parmi les Omvong. En effet, l'analyse de la variance effectuée sur les moyennes des deux espèces pour ces trois paramètres a montré qu'elles présentent des différences significatives à l'échelle des espèces et non des UFA. La comparaison de nos données de l'UFA Bambidie avec celles du plan

d'aménagement sur les densités exploitables d'Omvong et ceux issus de l'étude montre des différences assez importantes (Tableau 15). Cela s'explique par la variabilité spatiale des distributions en lien avec les facteurs susmentionnés. Il est en effet possible que les trois AAC échantillonnées soient plus riches que les autres.

Tableau 15: Comparaison des résultats de densité en tiges exploitables par ha

	]80;90]	]90;100]	]100;110]	]110 ;120]	]120;130]	]130 ;140]
Omvong (plan d'aménagement)	0,021	0,004	0,003	0,001	0	0
<i>D. polyanthum</i>	0,027	0,014	0,011	0,010	0	0
<i>D. sp. nov.</i>	0,082	0,059	0,035	0,012	0,008	0,002

Nos résultats fournissent pour *D. polyanthum* une densité de 0,170 tige à l'hectare pour les individus de diamètre supérieur à 80 cm. Le plan d'aménagement de l'unité forestière d'exploitation Mpoukou-Ogooué en République du Congo rapporte une densité de la même espèce (désigné sous le nom de Eyoum blanc) de 0,192 tige/ha pour les pieds de diamètre supérieur à 50cm (Taman industries & GTGC 2015). Bien que non comparable (classes de diamètre différentes) ces données permettent néanmoins de se faire une idée plus ou moins claire des intervalles de densité pour cette espèce dans la sous-région. De plus, Precious Woods and Terea (2015) prévoit de retirer de l'exploitation toutes les essences dont la densité est inférieure à 0,03 tige/ha ce qui n'est pas ici le cas de *D. polyanthum*. Ces résultats permettent donc de comprendre que l'exploitation de *D. polyanthum*, au vu des densités de l'espèce, peut être envisagée.

En s'intéressant aux volumes, l'un des constats est que le volume de *Dialium sp. nov.* (2,16 m³/ha) représente près du double de celui de *D. polyanthum*, (1,49 m³/ha), cela montre la surestimation potentiellement commise lors de l'évaluation du volume réellement exploitable des Omvong au sein de la concession dans le plan d'aménagement. Cela démontre ainsi la nécessité de bien différencier les deux espèces comme cela est déjà pratiqué par d'autres exploitants forestiers tel que c'est le cas pour l'unité forestière d'exploitation Mpoukou-Ogooué en République du Congo, où les volumes estimés sont de 0,074 m³/ha pour les tiges *D. polyanthum* de diamètre >70cm (Taman industries & GTGC 2015)

La surface terrière moyenne calculée pour l'espèce *D. polyanthum* (pour l'ensemble des UFA) donnent une valeur de 0,12 m²/ha. De plus, le test réalisé pour cette variable entre les deux espèces étudiées a montré des différences significatives.

4.3. Distribution des espèces

La superposition des cartes d'altitude, des types topographiques et du twi permet d'observer les variations topographiques caractérisant le paysage de la CFAD. Ces variations interviennent par la suite dans la distribution des espèces du genre *Dialium*. Prises individuellement, les variables altitudes, types topographiques et twi présentent une distribution plus ou moins semblable pour les différentes espèces.

En observant cependant la distribution des espèces suivant les types forestiers Rejou-Mechain et CEB, on remarque des différences significatives dans la répartition des deux espèces principales. En effet, les *Dialium* fréquentent divers types d'habitats (Rojo, 1982 ; Bibang et al., 2021). Certaines espèces sont observées préférentiellement dans les savanes boisées ou dans les galeries forestières, c'est le cas de *D. angolense*, *D. kasaiensis*, *D. englerianum* et *D. guineense*. D'autres affectionnent particulièrement les forêts riveraines, notamment *D. reygaertii*, *D. pobeguini* et *D. zenkeri* (Bibang et al., 2021).

La construction d'un modèle de prédiction de la distribution des espèces basé sur la régression logistique à partir des variables type forestier CEB, twi et altitude a permis de comprendre les facteurs intervenant dans la distribution des espèces. Le modèle a ainsi permis de conclure que les Forêts à okoumé et Azobé en basse altitude humide semblent offrir des conditions environnementales plus favorables au développement des peuplements de *Dialium polyanthum*. Rojo (1982) confirme la présence de *D. polyanthum* dans les vallées plus humides. L'abondance de l'espèce *D. polyanthum* dans les zones de basse altitude pourrait ainsi s'expliquer par le fait que ce soit des milieux plus humides.

D'un autre côté l'espèce *Dialium* sp. nov. trouve les forêts âgées à okoumé et au sommet des collines plus favorable. Comme Bibang et al. (2021) l'ont observé, certaines espèces sont identifiées comme indicatrices de forêt sempervirente âgée. Certaines caractéristiques des feuilles sont d'ailleurs fortement corrélées à l'écologie des arbres (Poorter, 2009 ; R. Doucet et al., 2022).

Il faut cependant nuancer en précisant que les différences de distribution ne font état que de l'abondance et pas de la présence des espèces. En d'autres termes, les deux espèces se développent assez bien dans ces différents types d'habitats à la différence qu'elles sont plus abondantes dans les écosystèmes décrits précédemment.

4.4. Exploitation des Omvong à CEB_PW

Il faut donc retenir que l'espèce *D. polyanthum* présente des caractéristiques intéressantes pour une éventuelle exploitation. Il reste cependant quelques préalables à réunir avant que l'espèce ne soit exploitée par l'entreprise. Il faudrait premièrement que les inventaires d'exploitation soient faits en distinguant bien le potentiel de l'espèce d'intérêt (*D. polyanthum*). Il faudrait donc que les équipes d'inventaires soient formées à la distinction de chacune des espèces.

Le tableau 16 présente une estimation des densités et des volumes de *D. polyanthum* potentiellement disponibles dans les trois UFA. Cette estimation se base sur la proportion de *D. polyanthum* observée dans les trois AAC étudiées ainsi que sur les proportions des qualités 1 et 2 des populations étudiées.

Tableau 16 : Estimation des densités et volumes de *D. polyanthum* (dhp > 80 cm, qualité 1 et 2) dans les trois UFA attribuées à CEB / PW

	UFA Bambidie	UFA Okondja	UFA Lelama
Densité estimée (tige/ha) dans les plans d'aménagement (A)	0,271	0,205	0,062
Volume estimé (m ³) dans les plans d'aménagement (B)	137 581	108 014	43002
Proportion de <i>D. polyanthum</i> (en %) (C)	0,25	0,45	0,47
Proportion des classes de qualités 1 et 2 (en %) (D)	0,61	0,51	0,8
Estimation des densités (tige/ha) exploitables de <i>D. polyanthum</i> (A x C X D)	0,041	0,047	0,02
Estimation des volumes (m³) exploitables de <i>D. polyanthum</i> (B x C X D)	20 981,10	24 789,21	16 168,75

Nous pouvons donc estimer que les volumes exploitables de *D. polyanthum* (dhp > 80 cm, de qualité 1 et 2) sont de 20 981 m³, 24 789 m³, 16 168,75 m³ pour les UFA Bambidie, Okondja et Lélama, soit un potentiel total de 61 939 m³.

En considérant les rendements de sciages calculés par R. Doucet et al., (2019), de 29,3% pour *D. polyanthum*, cela permettrait de produire 18 148,14 m³ de bois sciés dont la valorisation dépend de la promotion de l'espèce sur les marchés internationaux.

5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les résultats mis en lumière par cette étude permettent de contribuer à une meilleure connaissance de l'écologie et du potentiel de valorisation des espèces du genre *Dialium* dans le contexte du PW-CEB au Gabon. Les principales caractéristiques des populations de *D. polyanthum* et *D. sp. nov.* constituent une source d'informations permettant une meilleure évaluation des potentialités de chacune des espèces dans l'optique de leur exploitation future. Les deux espèces présentent de faibles différences dendrométriques et phénologiques dans leur globalité. Cependant, seule l'espèce *D. polyanthum* devrait être exploitée. Cette espèce a une population plus importante dans les forêts à Okoumé et Azobé par rapport aux forêts âgées à Okoumé. Globalement le potentiel valorisable serait de 61 939 m³ (18 148,14 m³ de sciage) pour l'ensemble des permis gérés par CEB-PW.

En vue de s'assurer de la durabilité de l'exploitation, il faudrait à l'avenir calculer les taux de reconstitution en séparant les différentes espèces regroupées sous le terme « Omvong ». Pour cela, notre travail a permis d'estimer les proportions relatives des espèces dans les différentes UFA. Ces proportions ne concernent que les pieds de plus de 70 cm de diamètre et doivent être appliquées avec prudence dans les classes inférieures, car il est possible que les proportions soient différentes, notamment en raison de la présence de *D. pachyphyllum*. Lors du calcul des taux de reconstitution, il faudrait aussi utiliser les paramètres démographiques propres à chaque espèce, ce qui devrait être possible grâce au dispositif permanent P3FAC (Ligot et al., 2021) implanté dans la concession et au sein duquel R. Doucet et al. (2022) a différencié les espèces présentes.

Références bibliographiques

- ATIBT (Association Technique Internationale des Bois Tropicaux), 2017. *Rapport d'activité 2017*. Paris : ATIBT.
- Banque Africaine de Développement, 2018. Rapport stratégique national. Développement intégré et durable de la filière bois dans le bassin du Congo : Opportunités, défis et recommandations opérationnelles. 309p.
- Bayol, N., Duherme, C., Gally, M., & Glannaz, S. 2021. L'évolution des filières bois dans le bassin du Congo. In *Les forêts du bassin du Congo : Etat des Forêts 2021*. Centre de recherche forestière internationale (CIFOR).
- Bibang, G-B ; Souza, A; Tosso, F. ; Doucet, R. ; Richel, A. ; Doucet, J-L. 2021. Les *Dialium* de la région guinéo-congolaise (synthèse bibliographique). *BASE*, 25, 172-191.
- Bile Allogho J., 1999. *Étude sur les ressources forestières du Gabon*. Rome : FAO.
- Biwolé A.B., Ouédraogo D-Y., Betti J. L., Doucet J-L., 2019. Dynamique des populations d'azobé, *Lophira alata* Banks ex C.F. Gaertn., et implications pour sa gestion durable au Cameroun. *Bois For. Trop.*, 342, 55-68, doi.org/10.19182/bft2019.342. a31670
- Dalimier, J., Achard, F., Delhez, B., & Baudouin, D. 2021. Répartition des types de forêts et évolution selon leur affectation. In *Les forêts du bassin du Congo : Etat des Forêts 2021*. Centre de recherche forestière internationale (CIFOR).
- Dirou, S. 2017. Les pratiques EFIR des sociétés FSC dans le bassin du Congo : Synthèse. ATIBT & TEREAA.
- Doetinchem, N., & Megevand, C. 2013. Dynamique de déforestation dans le bassin du Congo (Réconcilier la croissance économique et la protection de la forêt 2). Commission des forêts d'Afrique centrale (COMIFAC).
- Doucet J-L. 2007. Le moabi, une espèce « phare » de l'exploitation forestière en Afrique centrale. *Parcs et Réserves*, 62(2), 25-31.
- Doucet, R., Bibang Bengono, G., Meeus, T. de, Souza, A., Moupela, C., Martin, P., Richel, A., Jourez, B., Lejeune, P., & Doucet, J.-L. 2019. *Identification d'Essences à Haut Potentiel de Valorisation (EHPVAL)* (Rapport semestriel 1 ; p. 29). Commission des forêts d'Afrique centrale (COMIFAC)-PPECF.
- Doucet, R., Bibang Bengono, G., Ruwet, M., Van De Vreken, I., Lecart, B., Doucet, J.-L., Pierna, J.A.F., Lejeune, P., Jourez, B., Souza, A, 2022. Highlighting a New Morphospecies within the *Dialium* Genus Using Leaves and Wood Traits. *Forests*, 13, 1339. <https://doi.org/10.3390/f13081339>

- European Space Agency, Sinergise 2021. *Copernicus Global Digital Elevation Model*. Distributed by OpenTopography. <https://doi.org/10.5069/G9028PQB>. Accessed: 2024-02-07.
- Gérard J., Guibal D., Paradis S. & Cerre J.-C., 2016. *Atlas des bois tropicaux : caractéristiques technologiques et utilisations*. Versailles, France : Éditions Quæ.
- Gérard, J.; Guibal, D.; Paradis, S.; Vernay, M.; Beauchêne, J.; Brancheriau, L.; Châlon, I.; Daigremont, C.; Détienne, P.; Fouquet, D.; et al. 2011. *Tropix 7*; CIRAD: Montpellier, France.
- Gianmarco Alberti 2023. "landform: Topographic Position Index-Based Landform Classification" R package version 0.2. <https://CRAN.R-project.org/package=landform>.
- Hijmans Robert J. & Jacob van Etten 2012. raster: Geographic analysis and modeling with raster data. R package version 2.0-12. <http://CRAN.R-project.org/package=raster>.
- Koyo J.P., 1982. Les forêts congolaises d'aujourd'hui et celles de demain. *Bois For. Trop.*, **196**, 17-23.
- Lefang, P. 2001. L'importance des essences peu connues dans la planification de la gestion forestière. In Sustainable management of African rain forest. Part I: Workshops (p. 12-16).
- Ligot G., Gourlet-fleury S., Dainou K., Gillet J., Rossi V., Mazengu M., *et al.* 2021. Forest Ecology and Management Tree growth and mortality of 42 timber species in central Africa, 505. DOI:10.1016/j.foreco.2021.119889.
- Lindsay JB 2016. "Whitebox GAT: A case study in geomorphometric analysis." *Computers & Geosciences*, **95**, 75-84. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2016.07.003>.
- Madingou, A. J., Mabilia, N., & Nziengui, M. 2019. Etude de l'état des lieux des acteurs du secteur privé de la filière Forêt-Bois au Gabon. ATIBT & Réseau des organisateurs de la société civile pour l'économie verte en Afrique Centrale (ROSCEVAC).
- Meunier Q., Doucet J.-L. & Moumbogou C., 2015. *Arbres utiles du Gabon*. Gembloux, Belgique : Les Presses agronomiques de Gembloux.
- Nepveu G. 1994 - Variabilité in ARBOLOR [ed.] Le bois matériau d'ingénierie : p.127-177.
- Poorter, L. 2009. Leaf traits show different relationship with shade tolerance in moist versus dry tropical forests. *N. Phytol.*, **181**, 890-900.
- Precious Woods & Terea, 2015. *Plan d'aménagement 2000 – 2024. Version révisée 2015. UFA 1 Bambiole*. Libreville, Gabon.
- Raponda-Walker & Sillans R., 1961. *Les plantes utiles du Gabon*. Paris : Éditions Paul Lechevalier.
- Réjou-Méchain, M., Mortier, F., Bastin, J.-F., Cornu, G., Barbier, N., Bayol, N., ... Gourlet-Fleury, S. 2021. *Unveiling African rainforest composition and vulnerability to global change. Nature*, **593**(7857), 90–94. doi:10.1038/s41586-021-03483-6.

- Rojo J.P., 1982. *Studies in the genus Dialium (Cassieae- Caesalpinioideae)*. Phd thesis: University of Oxford Linacre (United Kingdom).
- Steyaert R.L., 1951. Contribution à l'étude du genre *Dialium*. *Bull. Soc. R. Bot. Belg./ Bull. Koninklijke Belg. Bot. Vereniging*, **1**, 29-45, <https://www.jstor.org/stable/20792116>, (16/06/2021).
- Taman industries & Géospatial Technology Group Congo (GTGC) SARL. 2015. Plan d'aménagement de l'unité forestière d'exploitation MPOUKOU-OGOOUE.
- Thomas R. 2000. Analyse des formes de troncs par photogrammétrie pour caractériser la qualité des bois : Application au pin sylvestre de Lozère. Sciences de l'environnement. Doctorat Sciences du bois, ENGREF Montpellier., Français. NNT : . tel-02579987.
- Vancutsem C, Achard F, Pekel J-F, Vieilledent G, Carboni S, Simonetti D, Gallego J, Aragao L, Nasi R. 2020. Long-term (1990-2019) monitoring of tropical moist forests dynamics. *Science Advances*. 7: eabel603.

ANNEXES

Annexe I : Formulaire kobocollect (papier et mobile)

DIALIUM_CEB

UFA

Bambidie
 Okondja
 Lelama

Parcelle

Numero prospection

Coordonnée X

Coordonnée Y

Altitude

Espèce

sp. nov.
 polyanthum
 lopense

Qualité

1
 2
 3
 4

Diametre

Estimé
 Mesuré

Hauteur de mesure

Valeur diametre

Default

Bosse
 Tordu
 pourriture
 Autre

Si autre, précisez

Phénologie

Fleur
 Fleur

Distance clinometre

angle au sol

Angle 1er default

Angle fourche

angle cime

Observation

23:38 W

DIALIUM_CEB

UFA

Parcelle

Numero prospection

Coordonnée X

Coordonnée Y

Altitude

Espèce

Qualité

Diametre

Hauteur de mesure

Valeur diametre

Default

Aller au début Aller à la fin

Annexe II: Folioles et fruits de espèces du genre Dialium



A: Folioles et fruits de *Dialium sp. nov.*



B: Folioles et fruits de *Dialium polyanthum*

Annexe III : Numéro de prospection et tronc de Dialium



A: Numéro de prospection (inventaire d'aménagement)



B: Tronc de *Dialium sp. nov.*

Annexe IV : Foliolles d'Omvong



Foliolle de *D. polyanthum*

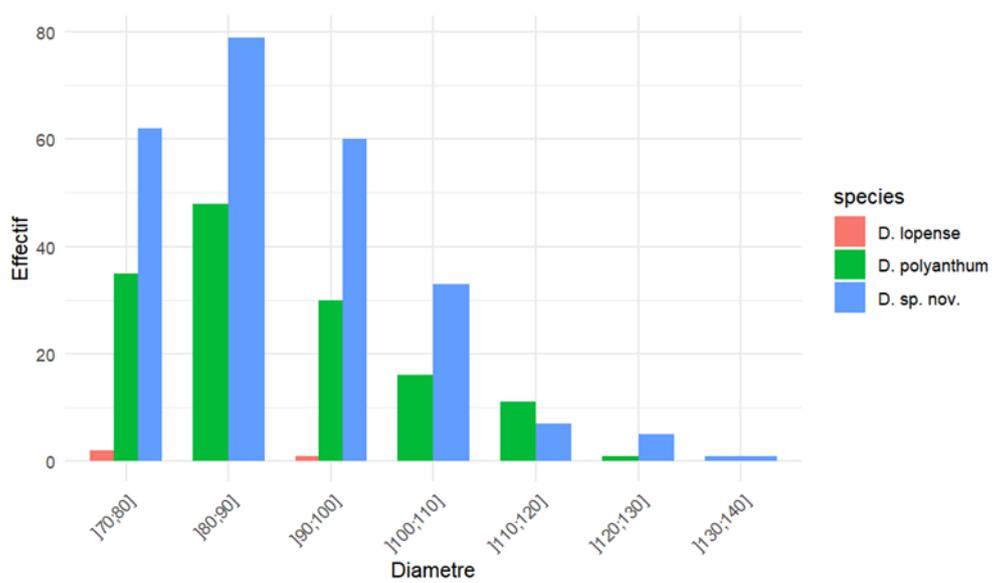


Foliolle de *D. lopense*



Foliolle de *D. sp. nov.*

Annexe V : Distribution diamétrique par espèce



Annexe VI: Test de vérification des conditions d'application de l'analyse de la variance

		UFA	Densité (p)	Surface terrière (p)	Volume (p)
Shapiro et wilk	<i>D. polyanthum</i>	Bambidie	0,114	0,160	0,180
	<i>D. polyanthum</i>	Lelama	0,299	0,476	0,506
	<i>D. polyanthum</i>	Okondja	0,05	0,388	0,350
	<i>D. sp. nov.</i>	Bambidie	0,0009	0,0003	0,0004
	<i>D. sp. nov.</i>	Lelama	0,286	0,614	0,906
	<i>D. sp. nov.</i>	Okondja	0,085	0,066	0,081
Levene			Densité (p)	Surface terrière (p)	Volume (p)
			0,37	0,41	0,38

Annexe VII : Représentation graphique test anova par UFA pour volume, St et densité

