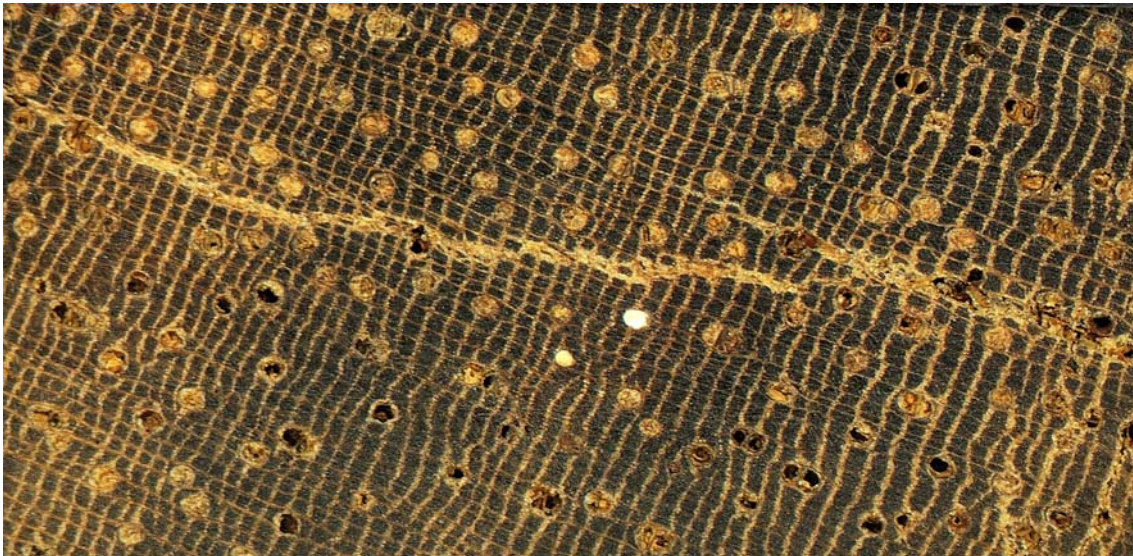


---

Etude de croissance du bois d'essences de promotion pour diversifier  
l'exploitation forestière en Afrique centrale  
-  
Projet de groupe

---



Thibaud Dalimier (s170290), Camille Dubois (s160018), Claire Masson (s170205) & Harold  
t'Serstevens (s171371)

Enseignants : Hugues Claessens & Adeline  
Fayolle  
Promoteurs : Tom De Mil & Robin Doucet  
Année académique : 2021 - 2022  
Master 2 GFEN

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction générale</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Objectifs et hypothèses de travail</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Matériel et méthode</b>	<b>4</b>
3.1	Échantillons étudiés . . . . .	4
3.2	Analyse anatomique . . . . .	4
3.3	Analyse de cernes . . . . .	5
3.3.1	Définition de la limite de cerne . . . . .	5
3.3.2	Digitalisation des cernes . . . . .	6
3.3.3	Analyses statistiques liée à la croissance des cernes . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Résultats et discussion</b>	<b>8</b>
4.1	Analyse anatomique . . . . .	8
4.1.1	Analyse qualitative . . . . .	8
4.1.2	Analyse quantitative . . . . .	8
4.2	Analyse de cernes . . . . .	11
4.2.1	Analyse de la variance de la largeur de cernes pour les genres <i>Dialium</i> et <i>Klainedoxa</i> . . . . .	11
4.2.2	Analyse de la variance de la largeur de cernes pour les espèces <i>K. gabonensis</i> , <i>D. lopense</i> , <i>D. pachyphyllum</i> et le nouveau morphotype <i>D. cf. lopense</i> . . . . .	12
4.2.3	Croissance et productivité . . . . .	14
<b>5</b>	<b>Conclusion</b>	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>Perspectives</b>	<b>18</b>
<b>7</b>	<b>Bibliographie</b>	<b>18</b>
<b>8</b>	<b>Annexe</b>	<b>20</b>
8.1	Ponçage des barreaux des échantillons analysés . . . . .	20
8.2	Analyse d'une coupe anatomique par ImageJ . . . . .	21
8.3	Comparaison anatomique du grand et du petit diamètre des vaisseaux des deux genres étudiés . . . . .	22

# 1 Introduction générale

Depuis longtemps, les essences phares exploitées en Afrique centrale sont les mêmes. Par conséquent, malgré une législation forestière contraignante, elles en viennent à s'épuiser. Parmi celles-ci, on peut citer l'Ayous (*Triplochiton scleroxylon*), le Sapelli (*Entandrophragma cylindricum*) et l'Azobé (*Lophira alata*). Une caractéristique de ces essences qui cause en partie leur disparition progressive est leur caractère héliophile. Au vu de l'exploitation pratiquée qui ne crée pas d'ouverture suffisante dans la canopée, elles ne parviennent pas à se régénérer (Biwolé, 2015).

Dans cette région de l'Afrique, les 170 millions de forêts denses humides tropicales présents sont, pour 28% d'entre eux, attribués à des sociétés forestières d'exploitation (FRM, 2018).

C'est dans ce contexte que se travaille s'inscrit. Dans l'objectif de diminuer la pression sur ces essences, les essences de substitution que sont l'Omvong et l'Eveuss vont être étudiées afin d'envisager leur exploitabilité. Le projet Essence à Haut Potentiel de valorisation (EHPval), en partenariat avec la société CEB Precious Wood Gabon et Pallisco au Cameroun, a identifié ces deux essences prioritaires et souhaite proposer aux entreprises des mesures de gestions adaptées aux besoins de chacune.

L'Omvong qui reprend sous cette appellation *Dialium pachyphyllum* et *Dialium lopense* est une espèce de la sous-famille des Césalpinoidées qui est tolérante à l'ombrage, abondante dans les forêts denses humides sempervirentes. Des arbres de diamètre élevé indiquent une forêt âgée. Il se disperse par zoochorie, les singes appréciant grandement ses fruits. C'est un bois dense avec une très grande durabilité naturelle plutôt utilisé pour l'extérieur, la construction de ponts, ... (Meunier Q. et al., 2015).

L'Eveuss dont le nom scientifique est *Klainedoxa gabonensis* est une espèce plus héliophile que l'Omvong, cependant, ce n'est pas encore une espèce pionnière. Elle est retrouvée tant dans les forêts denses humides sempervirentes que dans les semi-caducifoliées. Cette espèce appartient à la famille des Irvingiacées. Elle est également dispersée par zoochorie, mais plutôt par les éléphants. Elle possède également une densité élevée et une bonne durabilité de son duramen. Le bois est utilisé pour la construction lourde en extérieur (Meunier Q. et al., 2015).

Les deux essences vont être étudiées sous les spectres de l'anatomie et de l'accroissement. L'étude de l'anatomie permet de déduire des caractéristiques techniques desquelles découlent les utilisations de l'espèce. Le genre *Dialium* qui est un bois très lourd et dense sera employé pour tirer parti de sa très bonne durabilité naturelle et de sa robustesse au contraire du *T. scleroxylon* qui fait partie des bois légers qui sera plutôt employé pour du déroulage ou des panneaux de particules et des panneaux lattés (Y. Durand P., 1983). Elle permet également d'établir une définition précise de la limite de cernes, étape essentielle pour l'étude de l'accroissement. Cette dernière quant à elle est importante pour étudier l'exploitabilité d'une espèce. Si son accroissement annuel moyen est trop faible, l'arbre croît trop lentement et ne rentre pas facilement dans le cadre d'une exploitation et s'il est trop élevé, les caractéristiques mécaniques du matériau peuvent en pâtir. Selon J. Hébert et al. (2005), "l'accroissement peut être défini comme une modification d'état subie au cours d'une période ou dans un laps de temps déterminé et pouvant être estimée à partir de la comparaison de mesures successives". L'accroissement annuel moyen

est donc ici une largeur moyenne de cerne.

Le Gabon, pays duquel sont issus les échantillons étudiés, présente majoritairement un climat équatorial Aw selon la classification de Köppen-Geiger (Köppen and Geiger, 1954). Les précipitations moyennes varient entre 1400 et 3800 mm avec deux saisons des pluies et une moyenne de 1831 mm par an. Les températures varient entre 21 et 28°C (Enquête AQUASTAT, 2005 ; Figure 1)

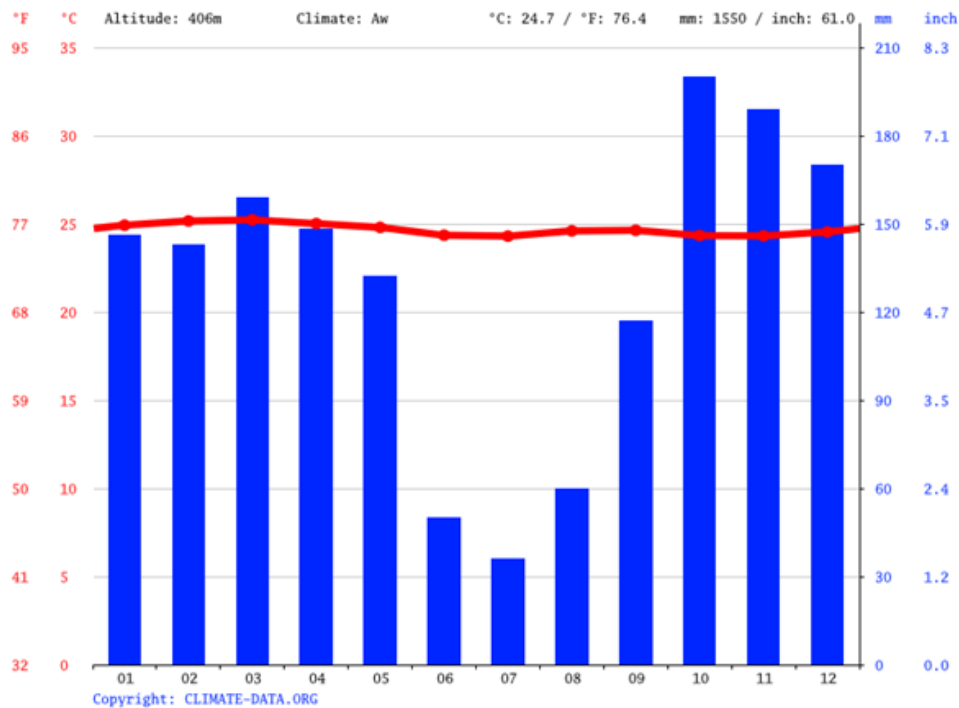


FIGURE 1 – Diagramme ombrothermique de la ville de Mounana (Climat Mounana : Pluviométrie et Température moyenne Mounana, diagramme ombrothermique pour Mounana - Climate-Data.org, December-09-2021. . <https://fr.climate-data.org/afrique/gabon/haut-ogooe/mounana-779700/#climate-graph>, (09/12/2021))

## 2 Objectifs et hypothèses de travail

L'objectif du travail est d'étudier deux genres d'espèces, *Dialium* et *Klainedoxa*, comme essences de substitution afin de diminuer la pression d'exploitation sur les essences phares du commerce de bois tropicaux. Deux axes principaux ont été étudiés dans ce rapport. D'une part, l'étude descriptive et quantitative de l'anatomie des quatre espèces, particulièrement de la densité et la taille des vaisseaux, a été réalisée. D'autre part, l'accroissement annuel moyen a été étudié par comptage et mesure des cernes sur base de scans de barreaux de bois. Il sera comparé aux valeurs d'accroissement annuel moyen des trois espèces phares mentionnées dans l'introduction, à savoir *T. scleroxylon*, *E. cylindricum* et *L. alata*. Ces deux études ont été réalisées à l'échelle macroscopique.

Deux hypothèses ont été faites pour ce travail. D'une part, les arbres étaient considérés comme issus de milieux homogènes. D'autre part, les cernes sont considérés comme ayant une périodicité annuelle afin de traiter les données au vu du manque d'informations à ce sujet dans la littérature. Elle devra être vérifiée pour exploiter les résultats de ce travail.

## 3 Matériel et méthode

### 3.1 Échantillons étudiés

Les analyses ont été effectuées sur 14 individus. Parmi ceux-ci, on compte cinq *Dialium pachyphyllum*, un *Dialium lopense*, quatre *Dialium* d'un nouveau morphotype (*Dialium cf. lopense*) probablement associable à une nouvelle espèce et cinq individus de l'espèce *Klainedoxa gabonensis*. Tous ont été exploités entre fin juin et début juillet 2019 au Gabon. Deux barreaux ont été prélevés dans une rondelle de chacun des 14 arbres. Ils étaient orientés le long du plus grand et du plus petit diamètre. Cependant dans certains cas, les zones concernées étaient abîmées et donc inexploitable et un barreau alternatif a été sélectionné. Cependant, parmi ces 28 barreaux, seul 25 étaient exploitables (huit de *K. gabonensis*, deux de *D. lopense*, six de *D. cf. lopense* et neuf de *D. pachyphyllum*).

Les unités d'échantillonnage correspondaient à un barreau et à un plot sur un barreau (de 5x5mm) respectivement pour l'étude de l'accroissement annuel et pour l'étude de l'anatomie.

Les barreaux sélectionnés ont été poncés dans un premier temps avec une ponceuse à bande avec un grain de 60 puis un grain de 80. Dans un deuxième temps, une ponceuse excentrique a été utilisée avec la suite de grains suivante : 60 - 80 - 100 - 120 - 180 - 220 - 320 - 500 - 1000 (Annexe 1).

### 3.2 Analyse anatomique

Premièrement, deux photos ont été prises pour les différents barreaux à 5 et 10 cm de la limite aubier-duramen à l'aide du logiciel *Camera Control Pro2*, un binoculaire et un appareil photo *Nikon D300S* et incluant une règle (permettant une mise à l'échelle ultérieurement).

Deuxièmement, les photos ont été traitées sur le logiciel *Capture NX2* afin de régler les niveaux de couleurs et de créer un masque flou pour améliorer la qualité de la photo et faire ressortir les éléments anatomiques visibles à l'échelle macroscopique.

Troisièmement, les photos ont été converties en format .jpeg afin de pouvoir être de pouvoir être analysées par la suite grâce à *Imagej*. Il est à noter que, dans cette étude, cette analyse n'a pas été exécutée sur toutes les images (Annexe 2).

Quatrièmement, une première description qualitative des différentes structures anatomiques (pores, vaisseaux, parenchymes, fibres et rayons) a été réalisée.

Cinquièmement, une analyse quantitative sur la taille et la densité des vaisseaux a également été effectuée sur le logiciel *Image J*. De plus, un Test t de Student a été effectué avec *Minitab*

2018 pour comparer les moyennes des aires des vaisseaux du nouveau morphotype avec les trois autres espèces étudiées afin de déterminer si une différence significative existe ou non. Les conditions d'applications du test de student supposant la normalité et l'égalité des variances entre les échantillons ont été vérifiées. L'hypothèse nulle (H0) du test t student étant l'égalité des moyennes des aires des vaisseaux des échantillons des différentes essences avec la moyenne du morphotype.

### 3.3 Analyse de cernes

#### 3.3.1 Définition de la limite de cerne

La première étape fut de fixer une définition d'un point de vue anatomique permettant de standardiser le choix de limite de cerne.

Les deux genres étudiés étant caractérisés par un bois dense tropical, les limites de cernes pour les deux genres étudiés (*Dialium* et *Klainedoxa*) peuvent être indistinctes ou absentes (10% des cernes sont estimés non détectables<sup>1</sup>). Cependant, dans certains cas, la limite des cernes peut être observée grâce à une ligne plus épaisse de parenchyme axial repérable dans le bois. Par ailleurs, avant cette ligne plus prononcée, la dimension des fibres est généralement plus petite. Tandis qu'après cette ligne de parenchyme plus épaisse, la dimension des fibres est généralement plus élevée et étirée (figure 2 à 5).

De plus, pour le genre *Dialium*, des variations de couleur, du brun clair au brun foncé, sont perceptibles à l'œil nu et permettent de supposer les limites des cernes.

En outre, un des inconvénients susceptible de perturber l'exactitude de la datation est le phénomène des cernes nuls.

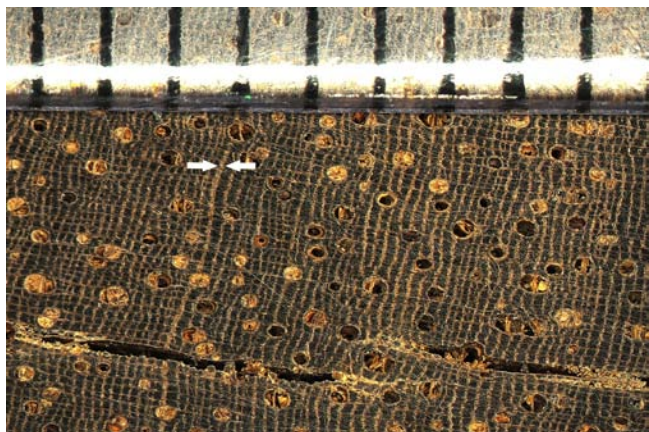


FIGURE 2 – Limite de cerne *D.cf.lopense*

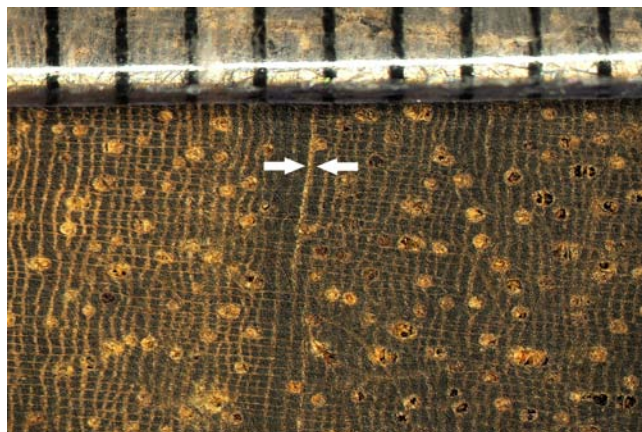
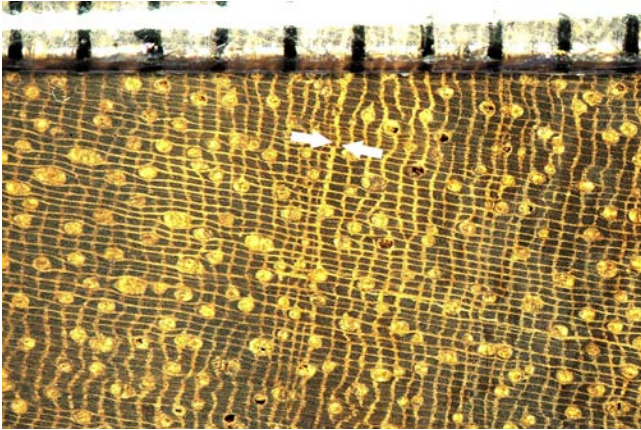
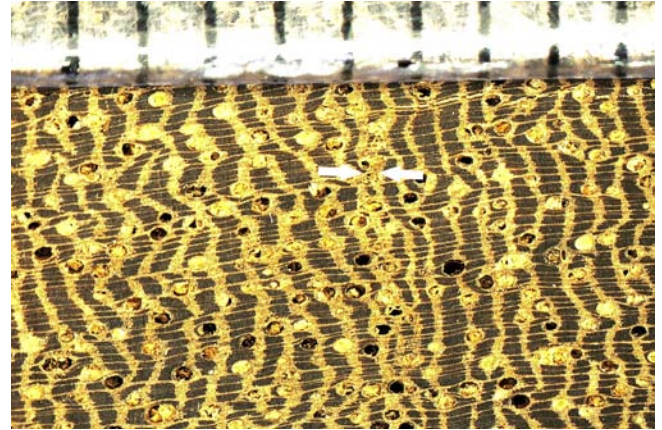


FIGURE 3 – Limite de cerne *D.lopense*

1. Source : interview Pr. Tom de Mil, novembre 2021

FIGURE 4 – Limite de cerne *D.pachyphyllum*FIGURE 5 – Limite de cerne *K.gabonensis*

### 3.3.2 Digitalisation des cernes

Dans un second temps, les cernes ont été indiquées sur les barreaux à l'aide d'un crayon, à l'œil nu, afin de faciliter le travail de marquage informatique plus tard. Une ligne est tracée dans le sens de la longueur depuis la moelle jusqu'à l'écorce et les limites de cernes sont marquées suivant l'orientation du cerne le long de cette droite-guide.

Ensuite, les barreaux ont été scannés à une résolution de 1200 DPI et une bande de 1 cm, incluant les marquages réalisés au préalable, est retenue comme image.

Les images scannées ont par après été recadrées et orientées grâce à *ImageJ*. Elles ont ensuite été converties (facteur de conversion de 21,2  $\mu\text{m}$ ) sur *DensitometryToolbox*, pour correspondre aux normes du logiciel *DHXCT* (De Mil et al., 2016) utilisé pour marquer numériquement les cernes (Figure 6). Les données concernant les cernes numérisés sont enregistrées dans des fichiers txt.

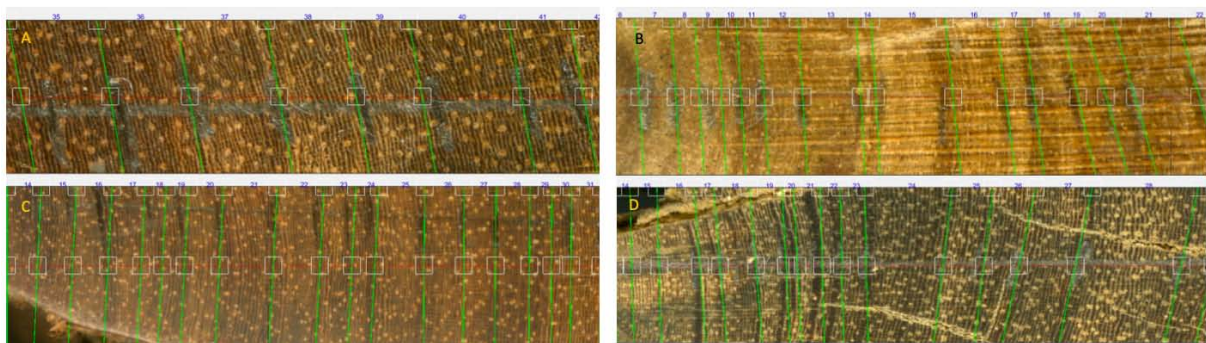


FIGURE 6 – Distribution des résidus des deux modèles linéaires généralisés (A : *D. lopense* ; B : *D. cf. lopense* ; C : *D. pachyphyllum* ; D : *K. gabonensis* ; digitalisation réalisée sur *DHXCT* (De Mil et al., 2016)

Seuls les 50 derniers cernes des échantillons ont été digitalisés dans un premier temps. Par la suite, les cernes d'un échantillon de chaque espèce ont été digitalisés depuis la moelle jusqu'à l'écorce (Tableau 1).

TABLE 1 – Nombre d'échantillons de *D. lopense*, *D. cf. lopense*, *D. pachyphyllum* et *K. gabonensis* pour lesquels les 50 derniers ou l'ensemble des cernes ont été digitalisés et l'âge des échantillons pour ces derniers

	Digitalisation des 50 derniers cernes		Digitalisation cernes de la moelle à l'écorce	
	Nombre d'échantillons		Nombre d'échantillons	Âge (ans)
<i>Dialium lopense</i>	2		1	148
<i>Dialium cf. lopense</i>	6		1	157
<i>Dialium pachyphyllum</i>	9		1	145
<i>Klainedoxa gabonensis</i>	8		1	126

Enfin, au départ des fichiers txt. générés, le logiciel *CoreComparison* (De Mil et al. 2016) a fourni un fichier Excel reprenant, pour chaque échantillon, les longueurs de chaque cerne (en mm) associées à l'année correspondante (en suivant l'hypothèse de cernes annuelles).

Les applications *DensitometryToolbox*, *DHXCT* et *CoreCoparison* fonctionnent dans l'environnement *MATLAB R2021b* (De Mil et al. 2016).

### 3.3.3 Analyses statistiques liée à la croissance des cernes

Dans un troisième temps, deux analyses de la variance ont été réalisées (ANOVA) pour comparer la longueur moyenne des 50 derniers cernes qui ont été digitalisés pour 25 échantillons. Pour ce faire, deux modèles linéaires généralisés ont été générés sur le logiciel *R* (version 4.1.0 (2021-05-18)).

La première ANOVA avait comme hypothèse nulle l'égalité la longueur moyenne des cernes pour les genres *Klainedoxa* et *Dialium* ( $H_0 : m_{Dialium} = m_{Klainedoxa}$ ). Pour tester cette hypothèse, le modèle linéaire créé avait comme variables à expliquer le logarithme de la longueur des cernes et comme variable explicative le genre.

La deuxième ANOVA avait comme hypothèse nulle l'égalité la longueur moyenne des cernes pour les trois morphotypes de *Dialium* et pour *K. gabonensis* ( $H_0 : m_{D.lopense} = m_{D.cf.lopense} = m_{D.pachyphyllum} = m_{Klainedoxa}$ ). Pour tester cette hypothèse, le modèle linéaire créé avait comme variables à expliquer le logarithme de la longueur des cernes et comme variable explicative l'espèce ou le morphotype.

Les conditions d'application (distribution normale des résidus, et homoscedasticité) des deux modèles linéaires ont été vérifiées. Le test de Shapiro-Wilk a montré que la distribution des résidus des deux modèles ne suit une loi normale (p-valeur < 0,05). Cependant, la distribution des résidus étant unimodale (Figure 7) pour les deux modèles, cette condition peut être acceptée.



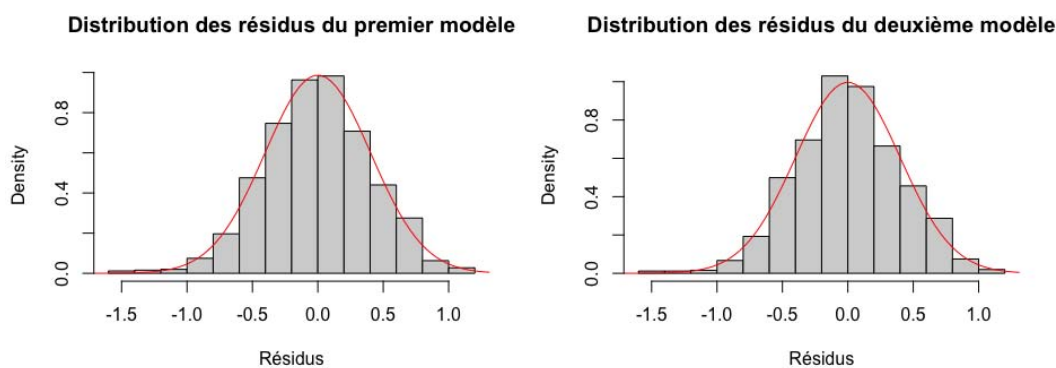


FIGURE 7 – Distribution des résidus des deux modèles linéaires généralisés

À partir des quatre échantillons qui ont été digitalisés sur la longueur totale du barreau (un échantillon de chaque espèce et morphotype), la surface terrière et la croissance de la surface terrière (BAI) ont été calculés sur Excel afin de pouvoir établir la différence de croissance, de productivité, de vigueur et d'âge entre les espèces étudiées.

## 4 Résultats et discussion

### 4.1 Analyse anatomique

#### 4.1.1 Analyse qualitative

Le genre *Dialium* est un bois à pores disséminés, les fibres ont des parois pouvant être fines à épaisses. Les rayons ont été observés toutefois il est impossible de déterminer le nombre de séries à l'échelle macroscopique. Au niveau du parenchyme, il y a deux types :

- Du parenchyme axial juxtavasculaire ;
- Du parenchyme axial en lignes minces.

Le genre *Klainedoxa* est un bois à pores disséminés, les fibres ont des parois généralement très épaisses. Les rayons ont été observés toutefois il est impossible de déterminer le nombre de séries à l'échelle macroscopique. Au niveau du parenchyme, il y a cinq types :

- Du parenchyme axial vasicentrique étiré ;
- Du parenchyme axial aliforme ;
- Du parenchyme axial anastomosé ;
- Du parenchyme axial en bandes larges ;
- Du parenchyme axial en lignes minces.

#### 4.1.2 Analyse quantitative

Bien qu'elles ne soient pas majeures, des différences peuvent être observées entre les essences.

Au niveau de la densité, il est possible de voir qu'elle est plus importante pour les observations à cinq centimètres que pour les observations à dix centimètres pour le genre *Dialium*

tandis qu'elle est quasiment semblable pour le genre *Klainedoxa* entre les différents tronçons. L'espèce qui a la densité de vaisseaux la plus importante dans le tronçon de cinq centimètres est le *Dialium pachyphyllum* tandis que dans le tronçon de 10 centimètres, c'est le *Klainedoxa Gabonensis* (Tableaux 2, 3, Figures 8, 9. et Annexe 3 ).

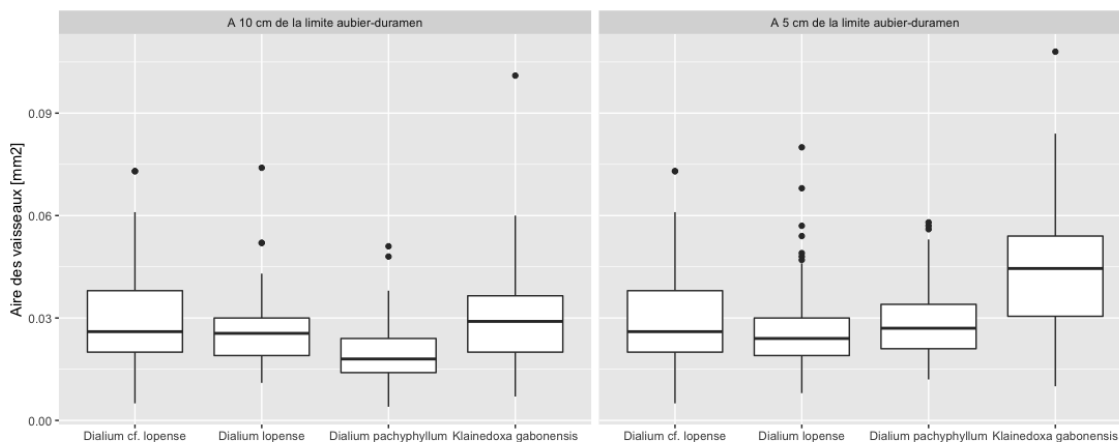


FIGURE 8 – Moyenne des aires des vaisseaux ( $\text{mm}^2$ ) à 5 et 10 cm de la limite aubier-duramen du morphotype *D. cf. lopense* et des espèces *D. lopense*, *D. pachyphyllum* et *K. gabonensis* (graphe généré sur *R* (version 4.1.0 (2021-05-18)))

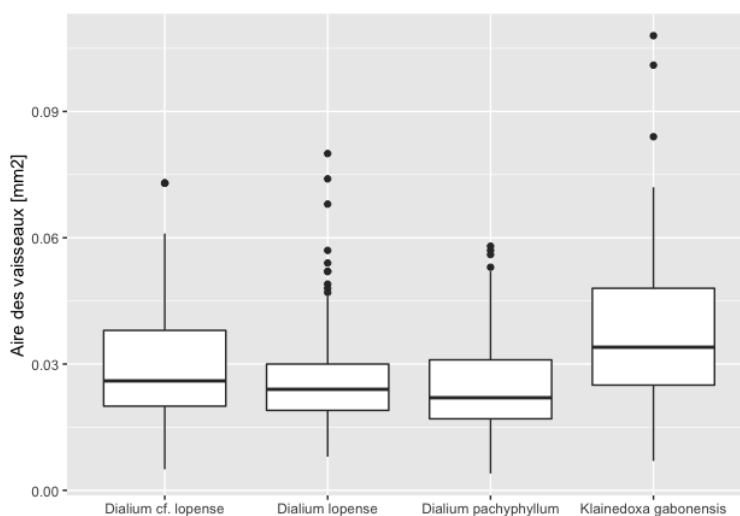


FIGURE 9 – Moyenne des aires des vaisseaux ( $\text{mm}^2$ ) du morphotype *D. cf. lopense* et des espèces *D. lopense*, *D. pachyphyllum* et *K. gabonensis* (graphe généré sur *R* (version 4.1.0 (2021-05-18)))

Les moyennes de densités sont du même ordre de grandeur. Toutefois, la littérature scientifique différencie les deux genres en affirmant que le genre *Dialium* a de 5 à 20 vaisseaux par  $\text{mm}^2$  tandis que le genre *Klainedoxa* a moins de 5 vaisseaux par  $\text{mm}^2$  (Oteng & Obeng, 2012; Mensah, 2012).

Au niveau de l'aire moyenne, il est possible de voir que c'est le *Klainedoxa gabonensis* qui

a les vaisseaux les plus grands alors que les vaisseaux des *Dialium* sont de plus petites aires et de longueurs d'axes.

TABLE 2 – Structuration des moyennes de la largeur moyenne des cernes pour le morphotype *D. cf. lopense* et les espèces *D. lopense*, *D. pachyphyllum* et *K. gabonensis*

	Distance sur tronçon [cm]	Densité [mm <sup>-2</sup> ]	Aire moyenne [mm <sup>2</sup> ]	Longueur moyenne axe majeur [µm]	Longueur moyenne axe mineur [µm]
<i>Dialium lopense</i>	5	3,56	0,0265	205,85	157,75
	10	2,88	0,0260	202,29	158,81
<i>Dialium cf. lopense</i>	5	3,96	0,0288	209,57	167,53
	10	2,92	0,0253	198,32	158,62
<i>Dialium pachyphyllum</i>	5	4	0,0284	216,91	163,01
	10	3,32	0,0197	181,10	133,66
<i>Klainedoxa gabonensis</i>	5	3,6	0,0434	272,83	197,81
	10	3,64	0,0303	225,35	163,41

Un test t de student a été réalisé pour comparer les moyennes des aires des vaisseaux entre les échantillons. Pour réaliser ce test, les conditions d'applications du test de student supposant la normalité et l'égalité des variances entre les échantillons ont été vérifiées (Tableau 3). Les résultats du test de Student montrent que la différence de genre induit une différence significative au niveau de l'aire des vaisseaux. Tandis qu'il n'y a pas de différence entre les essences du genre *Dialium* à l'exception du relevé à dix centimètres pour le *Dialium pachyphyllum*.

TABLE 3 – Résultat du test t de student relatif à l'égalité de moyennes des aires des vaisseaux entre le morphotype *D. cf. lopense* et les espèces *D. lopense*, *D. pachyphyllum* et *K. gabonensis* (m0 et m1 : les moyennes des aires des vaisseaux de *D. cf. lopense* à 5 cm et 10 cm de la limite aubier-duramen ; m2 et m3 : les moyennes des aires des vaisseaux de *D. lopense* à 5 cm et 10 cm de la limite aubier-duramen ; m4 et m5 : les moyennes des aires des vaisseaux de *D. pachyphyllum* à 5 cm et 10 cm de la limite aubier-duramen ; m6 et m7 : les moyennes des aires des vaisseaux de *K. gabonensis* à 5 cm et 10 cm de la limite aubier-duramen)

Test t de Student	Distance sur tronçon [cm]	Hypothèse nulle	Intervalle de confiance	p-value
<i>Dialium lopense</i>	5	m0 = m2	95%	0,215
	10	m1 = m3	95%	0,683
<i>Dialium pachyphyllum</i>	5	m0 = m4	95%	0,816
	10	m1 = m5	95%	0
<i>Klainedoxa gabonensis</i>	5	m0 = m6	95%	0
	10	m1 = m7	95%	0,008

## 4.2 Analyse de cernes

### 4.2.1 Analyse de la variance de la largeur de cernes pour les genres *Dialium* et *Klainedoxa*

Une première analyse exploratoire a été menée afin de déterminer la largeur moyenne des cernes de chacun des deux genres. Il en est ressorti une valeur de 2,94 mm pour le genre *Dialium* et une de 3,64 mm pour le genre *Klainedoxa* (Figure 10). Ces premiers résultats mettent déjà en évidence une certaine variance entre les deux genres.

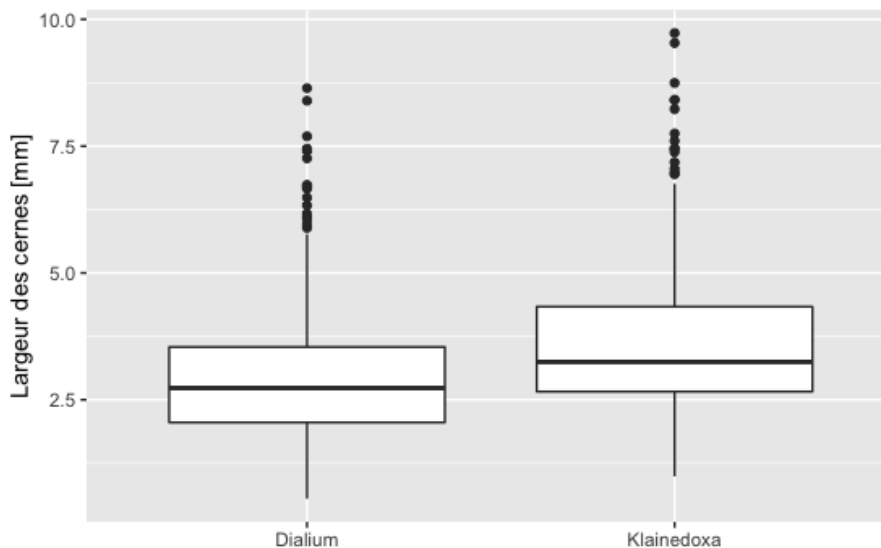


FIGURE 10 – Largeur moyenne des 50 derniers cernes produits pour les genres *Dialium* et *Klainedoxa* (graphe généré sur *R* (version 4.1.0 (2021-05-18)))

En effet, le résultat du test de l'ANOVA met en évidence qu'il y a une différence très hautement significative entre les moyennes des largeurs des cernes pour les deux genres (Tableau 4). Cette analyse permet de déterminer que le genre *Klainedoxa* produit des cernes en moyenne plus grands que ceux du genre *Dialium*.

TABLE 4 – Résultat de l'ANOVA de la largeur moyenne des cernes pour les genres *Dialium* et *Klainedoxa*

	DF	Deviance	Residual DF	Residual deviance	F	Pr(>F)
Genus	1	13,9	1270	208	85,3	$< 2,2 \cdot 10^{-16}$

Au vu des données, *Klainedoxa* a une croissance plus rapide et donc plus intéressante d'un point de vue productif. Cependant les deux essences ont une croissance lente, typique des bois denses, ce qui confirme les usages mentionnés dans l'introduction, à savoir de la menuiserie lourde et extérieure.

En comparaison, *T. scleroxylon* a un accroissement annuel moyen aux alentours de 7 mm/an (Kouadio et al., 2014), celui de *E. cylindricum* est compris entre 4.7 (Detienne et al., 1998) et 6.4 mm/an (Fétéké et al., 2017) et celui de *L. alata* se situe approximativement à 5 mm/an

(Biwolé et al., 2012) . Les espèces étudiées présentent donc un accroissement annuel moyen lent, mais qui permet de les catégoriser d'exploitables par l'industrie du bois.

#### 4.2.2 Analyse de la variance de la largeur de cernes pour les espèces *K. gabonensis*, *D. lopense*, *D. pachyphyllum* et le nouveau morphotype *D. cf. lopense*

Cette seconde analyse permet de prendre en compte la variance au sein du genre *Dialium*. Une nouvelle analyse exploratoire a fait ressortir une valeur de largeur moyenne de cernes de 2,71 mm pour *Dialium cf. lopense*, de 2,92 mm pour *Dialium cf. lopense*, de 3,10 mm pour *Dialium pachyphyllum* et de 3,64 mm pour *Klainedoxa gabonensis* (Figure 11).

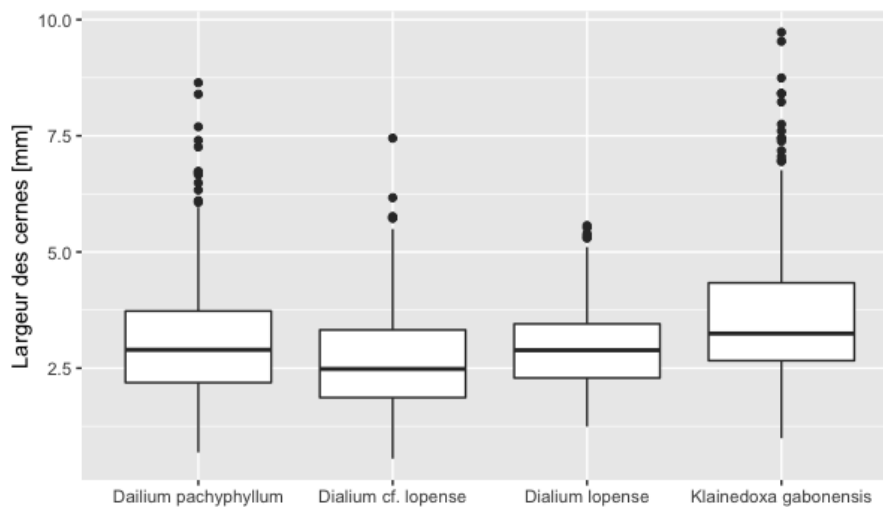


FIGURE 11 – Largeur moyenne des 50 derniers cernes produits pour le morphotype *D. cf. lopense* et les espèces *D. lopense*, *D. pachyphyllum* et *K. gabonensis* (graphe généré sur R (version 4.1.0 (2021-05-18)))

Le test de l'ANOVA a montré qu'il y avait également une différence très hautement significative entre ces différentes moyennes des largeurs des cernes (Tableau 5). Afin d'identifier à quels niveaux se situent ces différences, une structuration des moyennes a été réalisée sur le logiciel *R* (version 4.1.0 (2021-05-18) ; Tableau 6). Celle-ci a démontré qu'il y avait également une variabilité entre les différentes espèces de *Dialium*. En effet, *Dialium cf. lopense* a une largeur moyenne de cernes significativement différente de celles de *Dialium pachyphyllum*.

Par ailleurs, Bibang Bengono et al. affirment, dans un article paru en 2021, que l'accroissement annuel du *Dialium pachyphyllum* est plus important que pour les autres essences de *Dialium*. En effet, *D. pachyphyllum* a un accroissement estimé à 0,35 cm/an tandis que pour les autres essences de *Dialium*, l'accroissement est estimé à 0,25 cm/an. Cette étude appuie donc les résultats obtenus dans le présent rapport.

Une certaine variation existe entre les espèces de *Dialium* étudiées. L'espèce *D. lopense* est à l'intermédiaire entre le morphotype *D. cf. lopense* et l'espèce *D. pachyphyllum*. C'est cette dernière qui possède la croissance la plus rapide et qui sera par conséquent une espèce plus intéressante pour la production de bois.

TABLE 5 – Résultat de l’ANOVA de la largeur moyenne des cernes pour le morphotype *D. cf. lopense* et les espèces *D. lopense*, *D. pachyphyllum* et *K. gabonensis*

	DF	Deviance	Residual DF	Residual deviance	F	Pr(>F)
Genus	3	18	1268	204	37,4	$< 2,2 \cdot 10^{-16}$

TABLE 6 – Structuration des moyennes de la largeur moyenne des cernes pour le morphotype *D. cf. lopense* et les espèces *D. lopense*, *D. pachyphyllum* et *K. gabonensis*

	Estimate	Standard error	z value	Pr(> z )
<i>Dialium lopense</i> - <i>Dialium cf. lopense</i>	0,113	0,0458	2,46	0,0625
<i>Dialium lopense</i> - <i>Dialium pachyphyllum</i>	-0,0349	0,0439	-0,795	0,8526
<i>Dialium cf. lopense</i> - <i>Dialium pachyphyllum</i>	-0,148	0,0296	-4,99	<0,001
<i>Klainedoxa gabonensis</i> - <i>Dialium pachyphyllum</i>	0,168	0,0273	6,17	<0,001
<i>Klainedoxa gabonensis</i> - <i>Dialium cf. lopense</i>	0,316	0,0304	10,4	<0,001
<i>Klainedoxa gabonensis</i> - <i>Dialium lopense</i>	0,203	0,0444	4,58	<0,001

Selon Bibang Bengono et al. (2021), le genre *Dialium* comprend des bois durables, résistants aux champignons, aux termites, aux térébrants marins et aux insectes. En outre, ce bois peut convenir à différentes utilisations telles que la parqueterie, ébénisterie, pour le revêtement extérieur, pour la construction des ponts et d’autres usages industriels en travaux lourds. Toutefois, ce bois ayant une classe d’emploi de type 4 (utilisation en contact avec le sol ou l’eau douce) ne convient pas pour les travaux marins.

Concernant le *Klainedoxa gabonensis*, cette essence est très durable (type classe 4), elle convient pour des constructions lourdes en extérieur pouvant être en contact avec l’eau. La principale problématique avec cette essence est que l’aubier est peu différencié et sensible aux champignons (Meunier Q. et al., 2015).

Enfin, l’évolution de la taille des cernes en fonction de l’année a aussi été analysée (Figure 8). Cette évolution montre une diminution globale de la taille des cernes de *Klainedoxa gabonensis* depuis 1970, ce qui a tendance à montrer que les individus ont été prélevés alors qu’ils étaient déjà âgés et moins productifs. Cette diminution est aussi visible depuis 2010 pour *Dialium pachyphyllum*. Cependant, les graphiques montrent aussi qu’il y a des cernes de tailles deux fois supérieur à la moyenne (Figure 12). Dès lors, peut être que ceux-ci indiquent la présence d’un cerne intermédiaire n’était pas visible lors de la digitalisation.

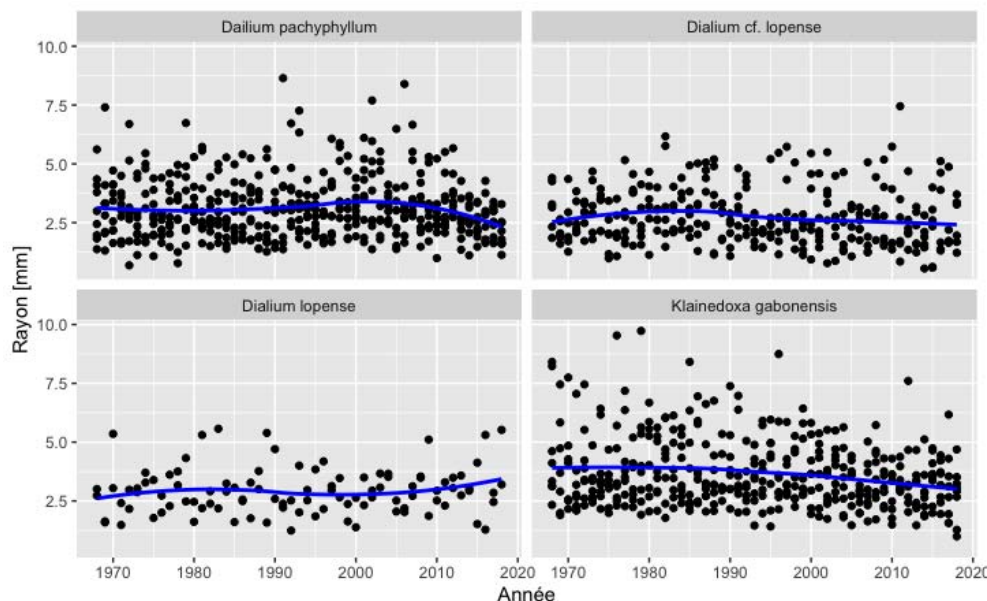


FIGURE 12 – Evolution de la taille des cernes en fonction de l'année et du morphotype *D. cf. lopense* et des espèces *D. lopense*, *D. pachyphyllum* et *K. gabonensis* (graphes générés sur R (version 4.1.0 (2021-05-18)))

### 4.2.3 Croissance et productivité

Dans cette section, les données traitées proviennent de l'analyse des cernes de croissance depuis la moelle jusqu'à l'écorce d'un échantillon de chaque espèce et morphotype. La productivité des essences peut notamment être déterminée à partir de l'évolution BAI (croissance de la surface terrière) en fonction de l'âge des individus (Figure 13). De manière générale, concernant la productivité au sein du genre *Dialium*, les courbes de productivité suivent un même schéma. Toutefois, le *Dialium pachyphyllum* semble plus productif que les deux autres essences de *Dialium*.

Il est possible de voir que le *Klainedoxa gabonensis* est plus productif que les autres essences et atteint son apogée de productivité (90 ans) plus rapidement que les essences du genre *Dialium* (>120 ans) ce qui en fait en terme de productivité une essence intéressante à exploiter. Cette analyse met donc en évidence que l'individu de *Klainedoxa gabonensis* étudié ici est âgé étant donné que la croissance de sa surface terrière diminue dans les dernières années.

En ce qui concerne la surface terrière, il est possible de voir que le *Klainedoxa gabonensis* présente une évolution de surface terrière nettement supérieure au genre *Dialium* (plus de deux fois supérieure à 100 ans). Au sein du genre *Dialium*, *Dialium pachyphyllum* présente une évolution de surface terrière plus soutenue que *Dialium cf. lopense* et *Dialium lopense*. Ces derniers présentent quant à eux une évolution semblable (Figure 14).

Afin de pouvoir comparer plus précisément la productivité de ces différentes essences, il convient de comparer leurs valeurs de BAI et de surface terrière obtenues à un même âge. Dans cette optique, cet indice a été comparé pour trois âges différents (30, 50 et 100 ans) afin d'également prendre en compte l'évolution de la productivité en fonction de l'âge de l'individu (Tableau 7).

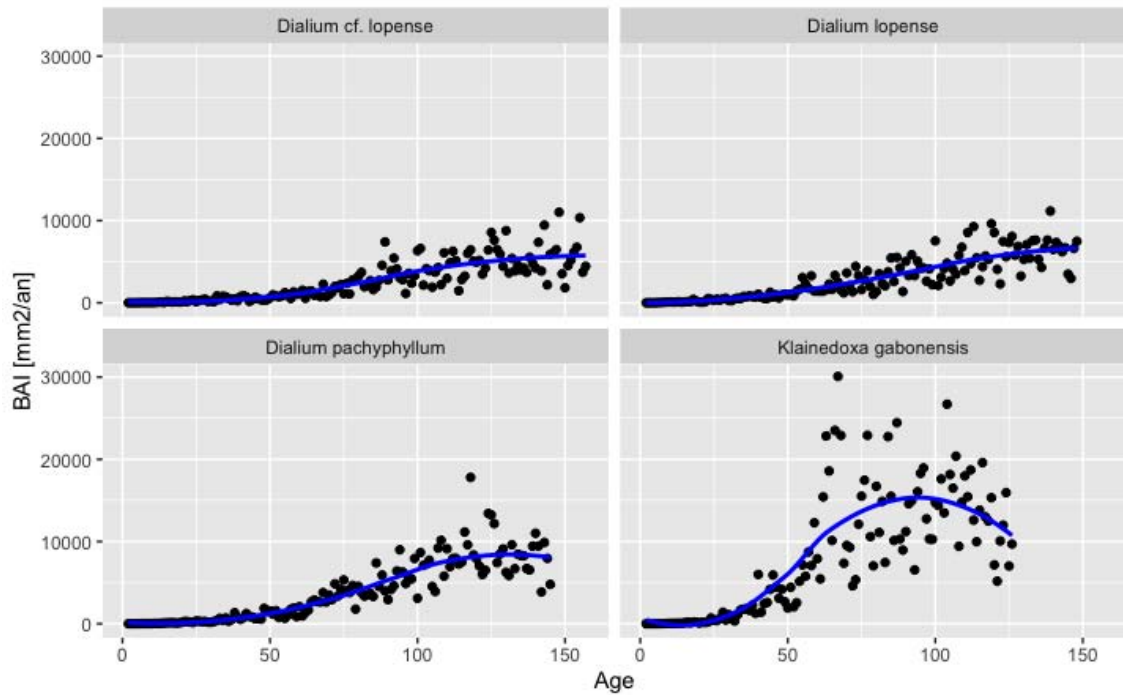


FIGURE 13 – Evolution du BAI en fonction de l'âge de l'individu du morphotype *D. cf. lopense* et des espèces *D. lopense*, *D. pachyphyllum* et *K. gabonensis* (graphes générés sur R (version 4.1.0 (2021-05-18)))

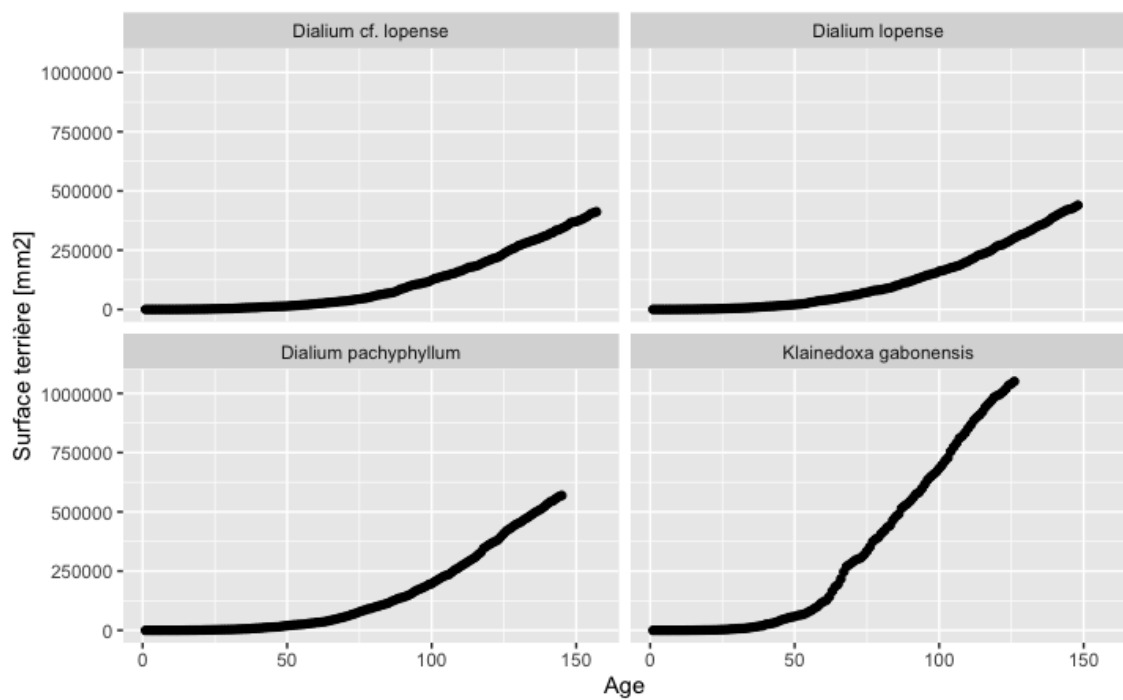


FIGURE 14 – Evolution de la surface terrière en fonction de l'âge de l'individu du morphotype *D. cf. lopense* et des espèces *D. lopense*, *D. pachyphyllum* et *K. gabonensis* (graphes générés sur R (version 4.1.0 (2021-05-18)))



TABLE 7 – Structuration des moyennes de la largeur moyenne des cernes pour le morphotype *D. cf. lopense* et les espèces *D. lopense*, *D. pachyphyllum* et *K. gabonensis*

Espèce	30 ans		50 ans		100 ans	
	BAI [mm <sup>2</sup> ]	Surface terrière [mm <sup>2</sup> ]	BAI [mm <sup>2</sup> ]	Surface terrière [mm <sup>2</sup> ]	BAI [mm <sup>2</sup> ]	Surface terrière [mm <sup>2</sup> ]
<i>Dialium lopense</i>	580	5 440	1 650	20 400	4 330	162 000
<i>Dialium cf. lopense</i>	369	3 760	1 290	14 000	3 580	124 000
<i>Dialium pachyphyllum</i>	589	3 420	2 140	19 700	6 000	197 000
<i>Klainedoxa gabonensis</i>	3 220	6 980	6 270	58 200	13 400	683 000

Cette comparaison met en évidence qu'à 30 ans, *K. gabonensis* présente déjà un BAI six fois plus important que celui des espèces de *Dialium*. De plus, à cet âge-là, la surface terrière de *K. gabonensis* vaut approximativement deux fois celle des *Dialium*.

Ensuite, à 50 ans, *K. gabonensis* reste l'essence qui produit la plus grande quantité de bois annuellement. D'ailleurs, à cet âge, sa surface terrière est près de trois fois plus importante que celle des *Dialium*. Cependant, à 50 ans, l'espèce *D. pachyphyllum* se distingue des autres morphotypes de *Dialium* par un BAI 1,5 fois plus grand. C'est donc à partir de la cinquantaine que *D. pachyphyllum* commence à produire plus de bois que les autres espèces du même genre.

Enfin, à 100 ans, la productivité annuelle de ces essences a encore augmenté et *K. gabonensis* reste 2 à 4 fois plus productif que les *Dialium*. L'espèce *D. pachyphyllum* produit alors respectivement 2 et 1,4 fois plus de bois que *D. cf. lopense* et *D. lopense*. À ce stade-ci, il est intéressant de noter que la surface terrière de *K. gabonensis* est 4 à 5,5 fois supérieure à celle des *Dialium*. Pour ce qui est de l'exploitation des essences tropicales, un diamètre minimum d'exploitabilité (DME) est imposé par les pays et peut différer entre ceux-ci.

Pour ce qui est du genre *Dialium* au Gabon est fixé à 70 cm (Loi n°16/01 du 31/12/2001) (Bibang Bengono et al., 2021). Les différentes espèces de *Dialium* attendraient le DME entre 125 ans (*D. pachyphyllum*) et 150 ans (*D. cf. lopense*, Figure 15).

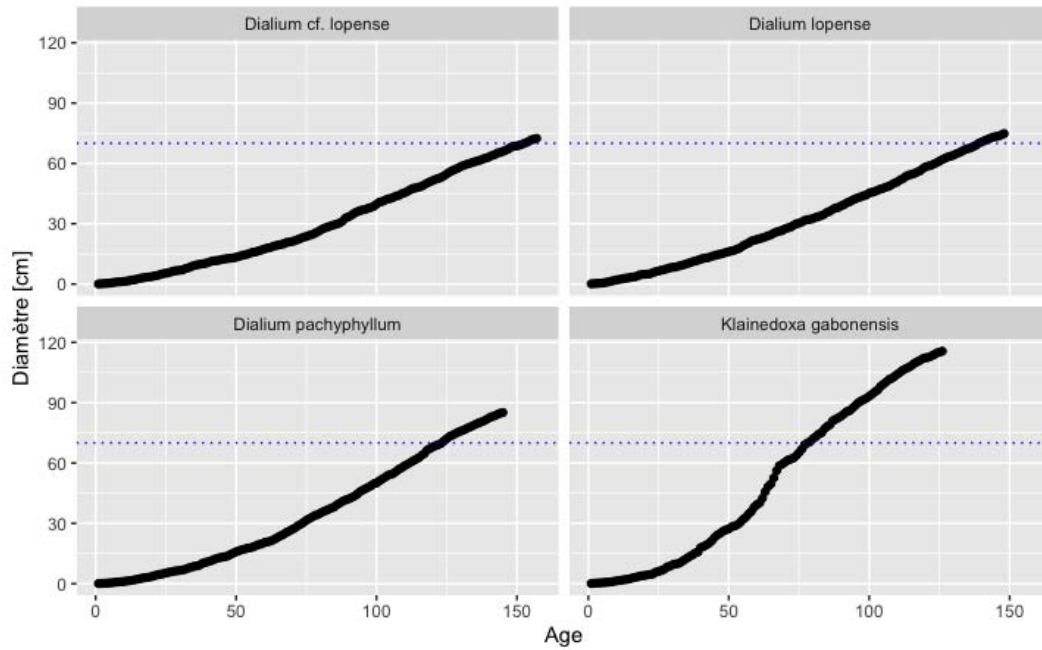


FIGURE 15 – Evolution du diamètre en fonction de l'âge de l'individu du morphotype *D. cf. lopense* et des espèces *D. lopense*, *D. pachyphyllum* et *K. gabonensis* (la ligne en pointillé indique le DME du genre *Dialium* au Gabon)

## 5 Conclusion

L'étude descriptive et quantitative de l'anatomie des quatre espèces révèle que la densité de vaisseaux est plus importante pour le genre *Dialium*. De plus, la moyenne de l'aire des vaisseaux du *Klainedoxa gabonensis* est plus importante.

En outre, sur base de l'étude des critères anatomiques, il n'est pas possible de conclure que le morphotype, *Dialium cf. lopense*, peut être considéré comme une nouvelle essence du fait que les résultats obtenus par rapport aux autres essences de *Dialium* ne sont pas significativement différents.

L'étude de l'accroissement annuel moyen par comptage et mesure des cernes sur base de scans de barreaux de bois révèle que les cernes du *Klainedoxa gabonensis* sont généralement plus larges que le genre *Dialium* traduisant une croissance plus rapide de cette essence.

La comparaison des essences du genre *Dialium* entre elles et avec le *Klainedoxa gabonensis* montre que le *Dialium pachyphyllum* est l'essence parmi le genre *Dialium* qui a la plus grande croissance de cerne et ainsi la plus compétitive avec le *Klainedoxa gabonensis*.

Concernant la productivité et la croissance, il est possible de conclure que le *Klainedoxa gabonensis* est l'essence la plus productive suivie du *Dialium pachyphyllum* puis du *Dialium lopense* et enfin du morphotype *Dialium cf. lopense*.

Bien que la productivité et la croissance soient moins importantes que les essences commer-

ciales traditionnellement exploitées, il se fait que ces essences peuvent convenir à une utilisation en alternance pour laisser le temps aux essences commerciales de se régénérer correctement et ainsi permettre aux exploitations forestières de s’inscrire dans un scénario de gestion durable.

## 6 Perspectives

Le genre *Dialium* et *Klainedoxa* sont des essences encore trop peu étudiées. Dans le cas de cette étude, il aurait été intéressant d’analyser plus de barreaux pour améliorer la robustesse des résultats statistiques. En outre, à l’avenir, il conviendrait d’étudier rigoureusement l’annualité des cernes en vue d’obtenir des résultats précis quant à l’âge et l’accroissement des essences étudiées tout en éliminant la subjectivité liée à la détermination de la limite de cerne. En parallèle, une étude globale sur les conditions météorologiques au niveau des endroits de prélèvement des échantillons permettrait d’avancer dans cette réflexion.

Concernant l’exploitabilité de ces essences, une étude approfondie sur la fructification permettrait de mettre en lien la fructification avec la productivité des essences et ainsi de déterminer un DME adéquat. De plus, une étude de la croissance de ces différentes essences en fonction du milieu serait également intéressante à réaliser.

De plus, une analyse anatomique plus approfondie serait nécessaire pour identifier les différences notables entre ces essences. De ce fait, la réalisation et l’analyse de coupes microscopiques pourraient mettre en avant des caractéristiques propres à chaque essence et potentiellement au nouveau morphotype. En outre, cela permettrait de préciser l’usage propre à chaque essence de bois.

Enfin, une fiche descriptive sur la réalisation de carottes et de coupes anatomiques a également été réalisée (en annexe). Celle-ci permettrait d’approfondir l’étude et potentiellement aider de futures personnes désirant se plonger dans ce type de manipulations.

## 7 Bibliographie

- Bengono et al., 2021. Les *Dialium* de la région guinéo-congolaise (synthèse.pdf, n.d.)
- Bengono G.B., Souza A., Tosso F., Doucet R., Richel A. & Doucet J.-L., 2021. Les *Dialium* de la région guinéo-congolaise (synthèse bibliographique). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* (3), 172–191, DOI :10.25518/1780-4507.19114.
- Biwolé A., 2015. Origine et dynamique des populations d’arbres des forêts denses humides d’Afrique Centrale, le cas de *Lophira alata* Banks ex Gaertn C.F. (Ochnaceae).
- Biwolé A.B., Bourland N. & Doucet J.-L., 2012. Définition du profil écologique de l’azobé (*Lophira alata* Banks ex Gaertn F., Ochnaceae) dans les forêts sempervirentes camerounaises A0.
- De Mil T., Vannoppen A., Beeckman H., Van Acker J. & Van den Bulcke J., 2016. A field-to-desktop toolchain for X-ray CT densitometry enables tree ring analysis. *Ann Bot* 117(7), 1187–1196, DOI :10.1093/aob/mcw063.

- Detienne P., Oyono F., Durrieu de Madron L., Demarquez B. & Nasi R., 1998. L'analyse des cernes : applications aux études de croissance de quelques essences en peuplements naturels de forêts dense africaine.
- Fétéké F., Fayolle A., Dainou K., Bourland N., Dié A., Lejeune P., Doucet J.-L. & Beckman H., 2017. variations saisonnières de la croissance diamétrique et des phénologies foliaire et reproductive de trois espèces ligneuses commerciales d'Afrique centrale. Bois for. trop. 330(330), 3, DOI :10.19182/bft2016.330.a31315.
- FRM, 2018. Vision stratégique et industrialisation de la filière bois dans les 6 pays du Bassin du Congo, Horizon 2030., Montpellier.
- Hébert J., Bourland N. & Rondeux J., 2005. Estimation de l'accroissement et de la production forestière à l'aide de placettes permanentes concentriques. Ann. For. Sci. 62(3), 229–236, DOI :10.1051/forest :2005014.
- Karsenty A. & Gourlet-Fleury S., 2006. Assessing Sustainability of Logging Practices in the Congo Basin's Managed Forests : the Issue of Commercial Species Recovery. ES 11(1), art26, DOI :10.5751/ES-01668-110126.
- Köppen, W., Geiger, R., 1954. Klima der Erde (Climate of the earth). Wall Map 1 :16 Mill
- Kottek M., Grieser J., Beck C., Rudolf B. & Rubel F., 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. metz 15(3), 259–263, DOI :10.1127/0941-2948/2006/0130.
- Kouadio Y.L., Neuba D.F., Koné M., Bourland N. & Doucet J., 2014. Étude de la croissance diamétrique de quatre essences de bois d'oeuvre exploitées à l'Est du Cameroun. J. App. Bioscience. 77(1), 6444, DOI :10.4314/jab.v77i1.6.
- L'irrigation en Afrique en chiffres - Gabon, 2005. . Enquête AQUASTAT.
- Lismonde T., 2020. Développement d'une filière locale de valorisation d'essences de bois d'Afrique centrale : Caractérisation et valorisation -. Biological chemistry 42.
- Matyas C., 1968. Quelques observations sur la présence du "coeur" mou chez certaines essences tropicales et notamment le samba.
- Mensah J.K., 2012. *Dialium pachyphyllum* Harms.  
<https://prota4u.org/database/protav8.asp?fr=1g=pep=Dialium+pachyphyllum+Harms>, (12/12/2021).
- Meunier Q., Moumbogou C. & Doucet J.-L., 2015. Les arbres utiles du Gabon, Gembloux, Belgium : Les Presses agronomiques de Gembloux, 340.
- Oteng-Amoako A.A. & Obeng E.A., 2012. *Klainedoxa gabonensis* Pierre.  
<https://prota4u.org/database/protav8.asp?fr=1g=pep=Klainedoxa+gabonensis+Pierre>, (12/12/2021).
- Oumar B., Brahim C., Anatole N.K. & Mathieu A.A., n.d. Carbon Storage in *Nauclea Didderichii* and *Triplochiton Scleroxylon* Stands in Côte d'Ivoire 10.
- Palla F., Louppe D. & Doumenge C., 2002. AZOBE.pdf.
- Y. Durand P., 1983. Vers une utilisation rationnelle des essences secondaires de forêt naturelle et une maîtrise technologique des bois de plantation en qualité et en quantité (1). Revue Bois et Forêts des Tropiques (202), 35–52.

## 8 Annexe

### 8.1 Ponçage des barreaux des échantillons analysés



FIGURE 16 – Barreaux après ponçage



FIGURE 17 – Matériel de ponçage

## 8.2 Analyse d'une coupe anatomique par ImageJ

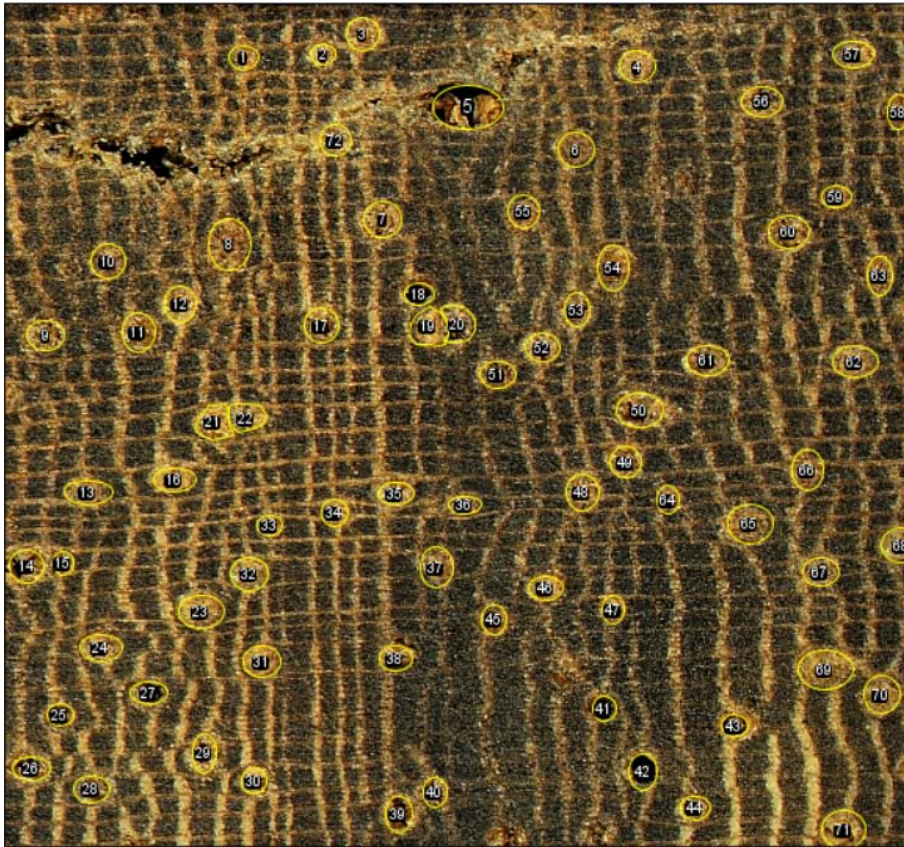


FIGURE 18 – Analyse de la densité et de l'aire des vaisseaux du *Dialium lopesense* grâce à ImageJ

### 8.3 Comparaison anatomique du grand et du petit diamètre des vaisseaux des deux genres étudiés

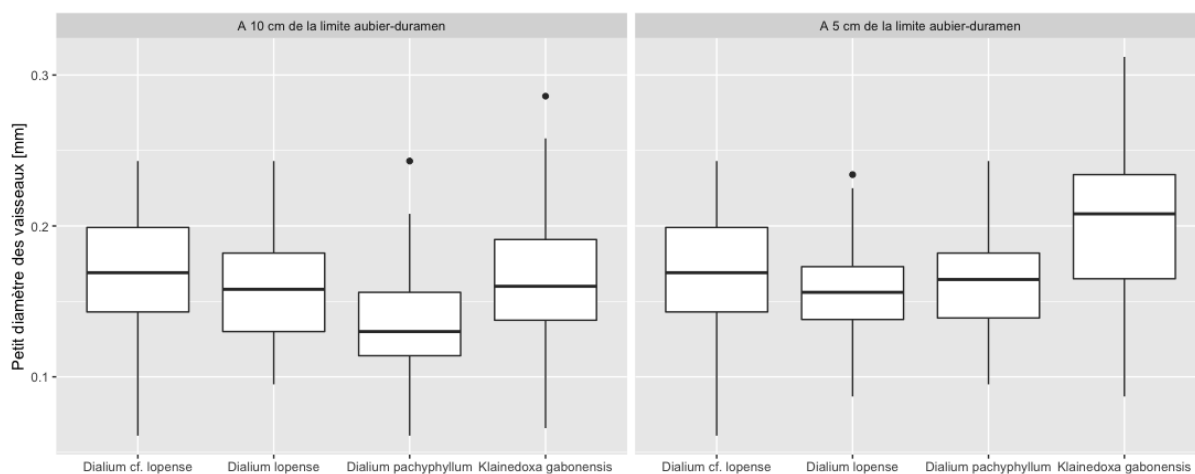


FIGURE 19 – Moyenne du petit diamètre des vaisseaux ( $\text{mm}^2$ ) à 5 et 10 cm de la limite aubier-duramen du morphotype *D. cf. lopense* et des espèces *D. lopense*, *D. pachyphyllum* et *K. gabonensis* (graphes générés sur *R* (version 4.1.0 (2021-05-18)))

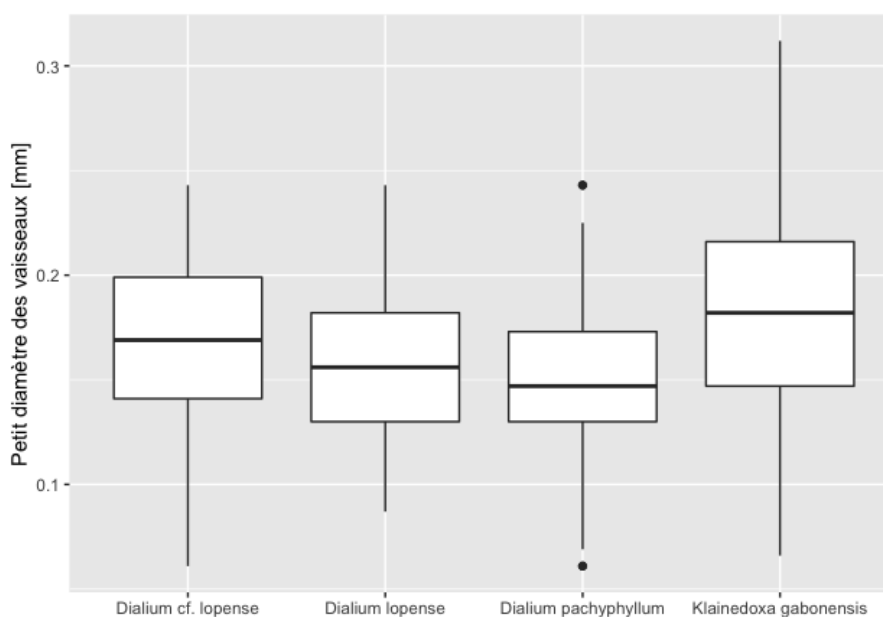


FIGURE 20 – Moyenne du petit diamètre des vaisseaux ( $\text{mm}^2$ ) du morphotype *D. cf. lopense* et des espèces *D. lopense*, *D. pachyphyllum* et *K. gabonensis* (graphes générés sur *R* (version 4.1.0 (2021-05-18)))

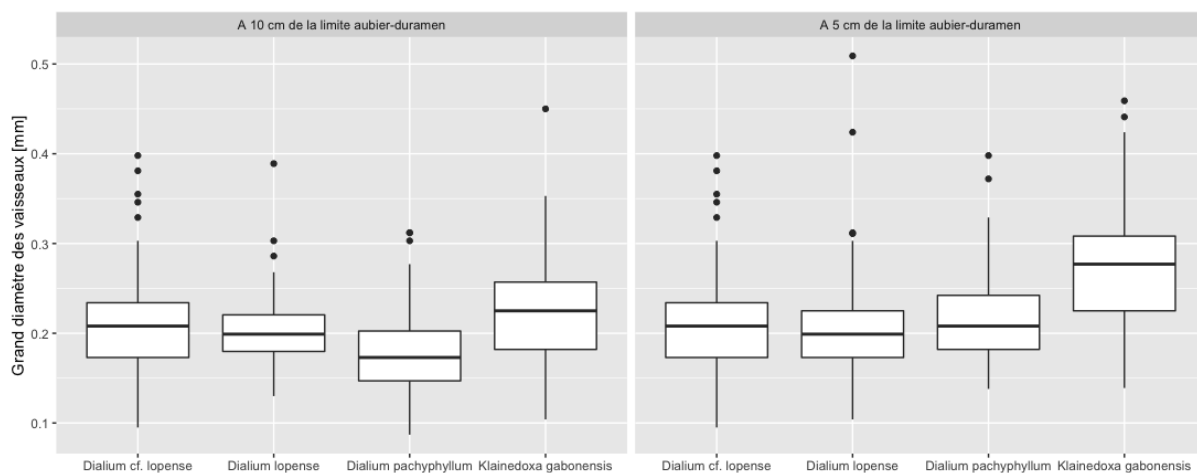


FIGURE 21 – Moyenne du grand diamètre des vaisseaux (mm<sup>2</sup>) à 5 et 10 cm de la limite aubier-duramen du morphotype *D. cf. lopense* et des espèces *D. lopense*, *D. pachyphyllum* et *K. gabonensis* (graphes générés sur *R* (version 4.1.0 (2021-05-18)))

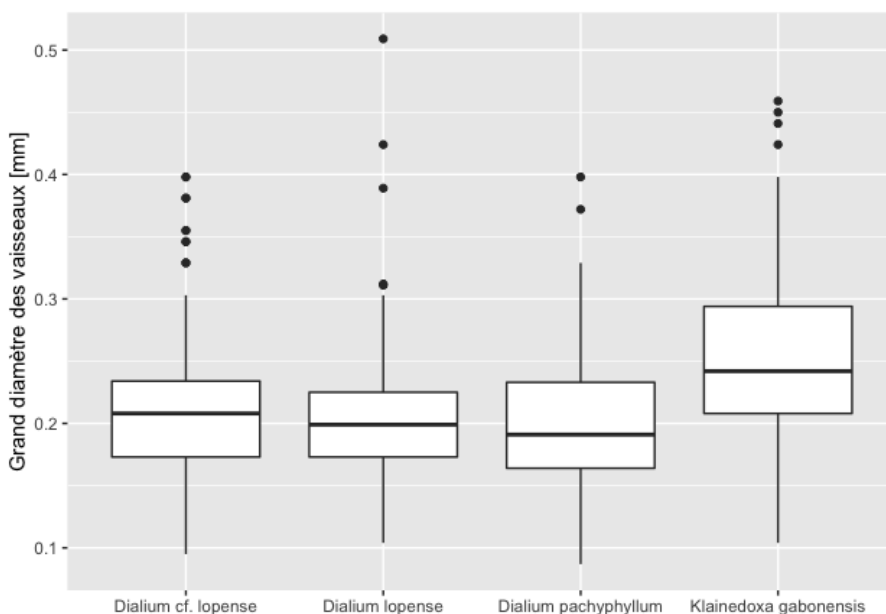


FIGURE 22 – Moyenne du grand diamètre des vaisseaux (mm<sup>2</sup>) du morphotype *D. cf. lopense* et des espèces *D. lopense*, *D. pachyphyllum* et *K. gabonensis* (graphes générés sur *R* (version 4.1.0 (2021-05-18)))





# Recommandations pour les étapes de collecte et d'analyse de carottes et de la préparation des échantillons pour la coupe au microtome



## 1

### Récolte de carottes

- Matériel :**
- Sachets de silicagel
  - Papier et crayon
  - Boîte de collecte des carottes
  - Tarière de Pessière
  - Herbar
  - Jumelles

#### Etapas

- Prélèvement de la carotte avec la tarière
- Prélèvement d'éléments d'herbar (feuilles, fruits, ...)
- Fiche descriptive avec description morphologique, dendrométrie, habitat et coordonnées géographiques

#### Recommandations

- Tarière plutôt que foreuse
- Manche de la tarière le plus long possible pour décupler la force
- Assurer l'affûtage de la tarière
- Marquer les différents morceaux de la carotte pour faciliter leur assemblage

## 2

### Préparation des carottes

- Matériel :**
- Scanner
  - Carottes récoltées
  - Colle à bois
  - Ponceuse avec différents grains
  - Gabarit de bois

#### Etapas

- Coller les carottes dans le gabarit de bois
- Poncer jusqu'à niveau
- Placer sur le scanner et prévisualiser
- Sélectionner la zone intéressante et les paramètres puis lancer le scan

#### Recommandations

- S'assurer de raboter les carottes selon le bon plan de coupe

## 3

### Préparation pour coupe au microtome

#### Matériel :

- Eau distillée
- Marmite à pression
- Echantillons de bois

#### Etapas

- Après sélection des échantillons à étudier, les identifier de façon indélébile
- Cuisson dans la marmite à pression. Les estimations estiment ce temps aux alentours de 15 jours

#### Recommandations

- Essentiel de prévoir beaucoup de temps pour l'attendrissement des blocs sinon coupes impossibles
- Identifier les échantillons à l'aide d'une méthode résistante à la "cuisson" en marmite à pression