

Identification d'Essences à Haut Potentiel de Valorisation (EHPVAL)

Rapport final : Février 2019- Février 2024

Robin Doucet, Gaël Bibang Bengono, Jérôme Alain Souza, Christian Moupela, Aurore Richel, Benoit Jourez, Philippe Lejeune, Marie-Laure Fauconnier, Paul Lagoute, Frédéric Ober, Thomas de Meeus, Roméo Koumba Koumba, Darius Mabicka, Marius Ruwet, Thibaud Dalimier, Camille Dubois, Claire Masson, Harold t'Serstevens, Alexandre Bûche, Patrice Ondoua Ondoua, Victoria Iyabo, Jean-Louis Doucet



Sommaire

Sommaire	2
Liste des figures	4
Liste des tableaux	6
Rappel du contexte de l'intervention et de ses objectifs	7
Sites d'études	9
Partenariat, période d'activité et difficultés rencontrées	9
Résultat 1 : Cinq essences candidates sont identifiées en concertation avec les industriels, sur la base de leurs structures de population (indicatrices de la régénération), de leurs dynamiques de population, des données dendrométriques disponibles et de leur morphologie	12
Activités 1.1 et 1.3 : Analyse des structures de populations issues des plans d'aménagement de CEB-PWG et Pallisco-CIFM et sélection des espèces cibles	12
a) Descriptif de l'activité.....	12
b) Résultats.....	12
Activité 1.2 : Modélisation de l'évolution de ces structures en intégrant les paramètres de dynamique issus du projet P3FAC	20
a) Descriptif de l'activité et méthodes	20
b) Résultats.....	22
Résultat 2 : Des molécules présentes dans les produits connexes ligneux issus de la transformation sont identifiées et leurs usages déterminés.....	26
Activité 2.1 : Sélection des coproduits à valoriser	26
c) Descriptif de l'activité et méthode.....	26
d) Résultats.....	26
Activité 2.2 : Analyse de la composition chimique (database).....	26
a) Descriptif de l'activité.....	26
b) Synthèse des connaissances actuelles sur les Eyoum (<i>Dialium spp.</i>).....	26
c) Enquête ethnobotanique sur les Omvong	27
d) Screening phytochimique.....	27
e) Caractérisation des molécules	28
Activités 2.3 et 2.4 : Extraction, caractérisation des molécules et étude de leur propriétés (fonctionnalisation)	29
a) Descriptif de l'activité.....	29
b) Méthodes extractives des polyphénols et propriétés antioxydantes et antimicrobiennes des extraits d'Omvong.	29
c) Dosage des polyphénols, des tanins condensés et capacité de précipitation des protéines des extraits d'Eveuss	31
d) Activité antiplasmodiale des extraits d'Omvong et d'Eveuss.....	32
e) Production de molécules plateformes : 5-hydroxyméthylfurfural (5-HMF) et de 2-furfural (2-F) à partir d'Omvong et d'Eveuss	34

Résultat 3 : Les propriétés physiques, technologiques et de durabilité naturelle du bois des essences considérées sont identifiées	35
Activités 3.1 à 3.3 : Découpe et transport de plateaux, étude des propriétés physico-mécaniques et de durabilité naturelle	35
a) Descriptif de l'activité et méthodes	35
b) Résultats.....	36
c) Perspectives	41
Résultat 4 : Les contraintes techniques et commerciales liées à la valorisation de nouvelles espèces sont identifiées et résolues	42
Activités 4.1 et 4.2: Identification des contraintes techniques dans les unités de transformation et mise en œuvre de solution techniques	42
a) Descriptif des activités	42
b) Le Mubala.....	43
c) L'Eyek	46
d) Les Omvong.....	46
e) L'Eveuss	48
f) L'Ossoko	49
Activité 4.3 : Actions de promotion	52
Capitalisation et diffusion des résultats	55
Bibliographie.....	58

Liste des figures

Figure 1: Abattage d'un Omvong commun (*Dialium polyanthum*), espèce d'avenir pour l'exploitation forestière⁸

Figure 2 : Localisation des deux sites d'étude dans les grands types forestiers d'Afrique Centrale (Réjou-Méchain et al., 2021).¹⁰

Figure 3: a. Fût de l'Eyeck, b. distribution géographique de l'espèce et c. structure de population dans les UFAs 10-041,42 et 44 regroupées de Pallisco (arbre/ha en fonction de la classe de diamètre).¹³

Figure 4: a. Fût du Mubala, b. distribution géographique de l'espèce et c. structure de population dans les UFAs 10-041,42 et 44 regroupées de Pallisco (arbre/ha en fonction de la classe de diamètre).¹⁴

Figure 5: a. Fût de l'Eveuss, b. distribution géographique de l'espèce et c. structure de population dans l'UFA 2 de PW-CEB (arbre/ha en fonction de la classe de diamètre).¹⁵

Figure 6: a. Fût de l'Ossoko, b. distribution géographique de l'espèce et c. structure de population dans l'UFA 2 de PW-CEB (arbre/ha en fonction de la classe de diamètre).¹⁶

Figure 7: Représentation de la distribution géographique des *Dialium* par sous-centre d'endémisme dans la région guinéo-congolaise. Les points d'occurrence proviennent des bases de données du Conservatoire et Jardin Botaniques de la Ville de Genève (CJBG, 2020), du Catalogue of Life Partnership via Global Biodiversity Information Facility (GBIF, 2020) et de la base de données RAINBIO (ArcGis version 10.4.1).¹⁷

Figure 8: Clef d'identification des Omvong à PW-CEB sur base de matériel stérile et récapitulatif de l'écologie connue de chaque espèce.¹⁹

Figure 9 : Localisation des dispositifs DYNAFAC utilisés pour mesurer la croissance des espèces et des UFAs dont l'inventaire d'aménagement a été utilisé pour modéliser l'évolution des populations.²¹

Figure 10: Evolution de la population au-dessus du DMA et des volumes prélevés à chaque rotation de l'Eveuss. A. Scénario actuel B. Scénario prudent.²⁴

Figure 11: Evolution de la population au-dessus du DMA et des volumes prélevés à chaque rotation de l'Ossoko. A. Scénario actuel B. Scénario prudent²⁴

Figure 12: Evolution de la population au-dessus du DMA et des volumes prélevés à chaque rotation du Mubala. A. Scénario actuel B. Scénario prudent²⁵

Figure 13: Evolution de la population au-dessus du DMA et des volumes prélevés à chaque rotation de l'Eyeck. A. Scénario actuel B. Scénario prudent²⁵

Figure 14 : Importance des usages ethnopharmacologiques des Omvong reportées par les personnes interrogées.²⁷

Figure 15 : Variation du contenu polyphénolique total (exprimé en mg d'équivalent acide gallique par g de matière sèche) en fonction de la méthode d'extraction pour chaque tissu végétal et pour chaque espèce. Les comparaisons par paire Emmeans sont présentées. *, **, ***, **** correspondent respectivement à $0,05 < p < 0,01$, $0,01 < p < 0,001$, $0,001 < p < 0,0001$ et $p < 0,0001$. **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 16 : Valeur des corrélations de Kendall entre les polyphénols (TPC) , les tannins (TTC) et les activités biologiques : antioxydantes (DPPH, FRAP) et antimicrobiennes³⁰

Figure 17: Macérations d'aubier, de bois de transition et de bois de cœur d'Eveuss³²

Figure 18: Dosage des polyphénols totaux de l'Eveuss en fonction du compartiment (*corewood* = bois de cœur, *heartwood* = bois de transition et *sapwood* = aubier) et de la hauteur de prélèvement. Moyenne comparée au moyen du test de Tukey, ns = non significatif, * = significatif, ** = hautement significatif, *** = très hautement significatif, **** = très très hautement significatif. **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 19 : Résultats de la production du 2-F à partir de différentes matières végétales. *Dialium angolense* = *Dialium polyanthum*³⁴

Figure 20 : Découpe d'un billon d'Eveuss pour la production de planches et de chevrons exportables vers le Laboratoire de Technologie du Bois en Belgique.³⁵

Figure 21 : Mise en œuvre de *Dialium lopense* pour la réalisation de tables et d'un bar de brasserie (Gembloux, Belgique).³⁷

Figure 22: Parement de tablette en Eveuss dans une maison Bruxelloise (Belgique).³⁷

Figure 23: Plat tourné en loupe de *Dialium bambidiense* (Hermoye, Belgique).³⁸

Figure 24: Lames de platelage en *Pentaclethra macrophylla* produits par Pallisco-CIFM (Mindourou, Cameroun).³⁹

Figure 25 : Table extérieur en *Dialium polyanthum* selon une mise en œuvre appropriée. Seul des pièces sur quartier/faux quartier ont été utilisées. Les traverses intérieur sont espacées et uniquement vissées dans la rainure du montant pour laisser le retrait radial s'exprimer (Namur, Belgique).³⁹

Figure 26: Utilisation de l'Eyeck pour la création de meubles intérieurs. Plateaux et tiroirs en Eyeck et piètements en chêne (Sart-Tilman, Belgique & Hermoye, Belgique).⁴⁰

Figure 27 : Plateau de table en Ossoko réalisé par la menuiserie de PW-CEB (Bambidie, Gabon).⁴¹

Figure 28: Représentation graphique de l'équation de cubage de *P. macrophylla* en fonction de la hauteur moyenne des fûts des arbres de chaque classe de qualité et de la hauteur moyenne de tous les arbres, indépendamment de la qualité (pointillé)⁴⁴

Figure 29 : Coefficient de commercialisation en fonction de la hauteur du fût.⁴⁵

Figure 30 : Proportion des arbres dans les différentes classes de qualité en fonction de l'humidité du sol.⁴⁶

Figure 31 : Découpe d'un courçon de *Dialium lopense* avec la lame au carbure du tungstène⁴⁷

Figure 32: Schéma de sciage proposé pour la production de cœur enrobé d'Eveuss noir et d'avivés d'Eveuss blanc.⁴⁹

Figure 33: Vue transversale de la section d'une tige de Sorro à 1m³⁰ et matérialisation de la mesure du diamètre et de la profondeur de la cannelure. Le trait continu en gras représente la section de l'arbre ; le trait continu fin représente le mètre ruban et le trait rouge correspond à la profondeur de la plus grande cannelure, mesurée perpendiculairement au mètre ruban.⁵⁰

Figure 34: Plan de vol du drone lors de l'acquisition d'image. a. positionnement du drone entre deux cibles et visualisation du centre de chaque cible; b. élévation du drone en maintenant les cibles dans le champ de vision de la caméra; c. descente en focalisant la visée sur le tronc.51

Figure 35: Productivité du tronçonnage en fonction de la profondeur de la plus grande cannelure de l'Ossoko52

Figure 36: Rendement sciage de l'Ossoko en fonction du diamètre corrigé des arbres. Le diamètre corrigé correspond au diamètre mesuré à 1m30, auquel est retranchée la profondeur de la plus grande cannelure52

Figure 37 : Quatre exemplaires de stylo-billes distribués lors des événements de promotion.53

Figure 38: Divers aménagements de la brasserie Beerfac à Gembloux Agro-Bio Tech réalisés en Omvong provenant des forêts de PW-CEB.54

Liste des tableaux

Tableau 1 : Calendrier des activités menées durant la mise en œuvre du projet EHPval11

Tableau 2 : Présentation des deux scénarios. α est le coefficient d'exploitation, DMA est le diamètre minimum d'aménagement, R_1 est le taux de reconstitution à la première rotation, V_1 est le volume prélevé lors de la première exploitation (m^3/ha), R_4 est le taux de reconstitution après 4 rotations (%), V_a , V_b et V_c sont les volumes moyens collectés au cours des 4 rotations ($m^3/ha/rotation$).22

Tableau 3 : Evaluation de la présence de 5 classes de molécules au sein de l'écorce (E), du duramen (D) et de l'aubier (A) des 6 espèces étudiées. Signification: / = non testé, - = absence, + = présence sous forme de trace, ++ = forte présence, +++ = abondance.28

Tableau 5 : Résultat du test antiplasmodiale pour les différents compartiments des espèces ciblées33

Tableau 6: Tableau récapitulatif des utilisations potentielles des différentes espèces testées dans l'ordre de pertinence. ¹Sous réserve d'une teneur en silice limitant les difficultés de transformation ; ² Uniquement après purge du bois de transition ; ³ Uniquement en zone peu exposée aux intempéries et avec une conception drainante ; ⁴Sous réserve d'une mise en œuvre limitant les variations dimensionnelles du bois ; ⁵ Soumis à une humidité fréquente ou prolongée mais pas constante.42

Tableau 7 : Critères de classification de la qualité des arbres à Pallisco-CIFM pour *P. macrophylla*44

Tableau 8 : Résultats de l'essais de sciage du Mubala45

Tableau 9 : Résultats de l'essai de sciage des Omvong47

Tableau 10 : Critères de classification de la qualité des arbres à PW-CEB48

Tableau 11 : Estimation des volumes exploitables de *D. polyanthum*48

Rappel du contexte de l'intervention et de ses objectifs

En Afrique centrale, environ 6 millions d'hectares sont certifiés par le Forest Stewardship Council (FSC). La traduction des 10 principes du FSC en standards régionaux précise que le gestionnaire doit maintenir les capacités de production des écosystèmes forestiers (indicateur 5.1.2). Dans cette optique, un taux de prélèvement est calculé pour chaque essence afin d'assurer la reconstitution du stock forestier au cours d'une rotation (entre 25 et 30 ans selon le plan d'aménagement). Bien que ce taux soit censé garantir la pérennité des ressources (critère 5.6), il n'est calculé que sur une seule rotation et une valeur inférieure à 100 % est tolérée par les législations forestières actuelles. Or le faible taux de régénération de certaines essences ne permet pas la reconstitution du stock à long terme et l'on assiste à une perte importante du potentiel de production de certaines essences forestières. Cette perte est très préoccupante pour deux raisons principales. Premièrement, la biodiversité forestière s'en trouve menacée car le cortège floristique et faunistique associé aux espèces exploitées est perturbé. Deuxièmement, elle met en péril la viabilité économique des entreprises. nnn

L'abandon de certaines concessions certifiées de grands groupes (Wijma, Rougier) est à ce titre très interpellant. Les conséquences sont multiples : (i) il en résulte une diminution des superficies certifiées, (ii) cet abandon questionne un modèle de concession jugé « exemplaire » pendant deux décennies, (iii) il ouvre la porte à des pratiques d'exploitation non durables. Il est donc extrêmement urgent de garantir la viabilité des concessions forestières au-delà de la première rotation. Pour ce faire, il convient de valoriser mieux et plus d'essences.

Parmi les options de valorisation, figure deux possibilités majeures : (i) mettre sur le marché des nouvelles essences dont les propriétés technologiques et de durabilité demeurent peu connues, (ii) valoriser de façon éco-efficace et directement sur les sites de transformation les coproduits actuellement non utilisés par l'industrie du bois. Cette chimie « fine » du bois peut cibler des marchés de niche et se caractériser par la production de petits volumes à haute, voire très haute valeur ajoutée (par exemple production de pycnogenol, un antioxydant naturel extrait des écorces de pin maritime). Une telle filière pourrait s'intégrer de manière harmonieuse dans la filière bois, en s'insérant dans la chaîne de valorisation existante et sans perturber la valorisation des autres coproduits. En Europe, ce secteur est en plein essor (voir par exemple le projet EXTRA FOR EST). Vouloir le développer en Afrique est une évidence compte tenu de la diversité des molécules présentes dans les arbres tropicaux.bbv

En conséquence, le projet EHPval (Essence à Haut Potentiel de Valorisation) a visé à identifier et à valoriser des essences à haut potentiel, tant sur le plan ligneux qu'en termes d'extraction de biomolécules à haute valeur ajoutée. L'objectif spécifique est donc d'augmenter la liste des essences commerciales actuelles et de diversifier les produits en mettant l'accent sur des essences dont l'exploitation est rentable économiquement et dont la régénération garantit la pérennité de la ressource. Ce faisant, le projet a ambitionné de réduire les prélèvements sur des essences « classiques » dont la régénération n'est pas garantie.

L'atteinte de l'objectif spécifique de ce projet dépendait des 4 résultats suivants :

Résultat 1 : Sélection d'essences candidates sur la base de leurs structures de population (indicatrices de la régénération), de leur dynamique des populations, des données dendrométriques (morphologie) et des données bibliographiques (composés chimiques) ;

Résultat 2 : Création d'une database des molécules présentes dans les produits ligneux connexes issus du sciage et identification des usages potentiels ;

Résultat 3 : Caractérisation des propriétés physiques, technologiques et de durabilité naturelle du bois des essences considérées ;

Résultat 4 : Identification des contraintes techniques et commerciales et proposition de solutions pour que la transformation de ces essences soit économiquement viable.



Figure 1: Abattage d'un Omvong (*Dialium polyanthum*), essence d'avenir pour l'exploitation forestière en Afrique Centrale

Sites d'études

Les investigations de ce projet ont été menées au sein de deux concessions forestières certifiées FSC : Pallisco-CIFM dans l'Est Cameroun et Precious Wood CEB (PW-CEB) à cheval entre le Haut-Ogooué et l'Ogooué-Lolo, au Gabon ().

Les UFA gérées par Pallisco-CIFM sont caractérisées par un climat équatorial avec une température moyenne de 24°C et des précipitations annuelles de 1654 mm (Fétéké et al., 2004). Elles se caractérisent par des forêts semi-décidues et des forêts de transition. Les premières sont caractérisées par une saisonnalité marquée, une majorité d'espèces de *Fabaceae*, *Annonaceae* et *Malvaceae* ainsi que la présence de certains taxons représentatifs tels que : *Pericopsis alata* (Harms) Meeuwen, *Fernandoa adolfi-friderici* (Gilg & Mildbr.) Heine, *Dasylepis seretii* De Wild., *Desplatsia spp.* et *Entandrophragma cylindricum* (Réjou-Méchain et al., 2021). Les secondes présentent une saisonnalité moins marquée, mais des espèces avec une densité moyenne de bois plus élevée et des diamètres moyens plus faibles. Ces forêts sont caractérisées par l'abondance de *Fabaceae*, *Annonaceae* et *Olacaceae* avec des taxons représentatifs tels que: *Uapaca spp.*, *Musanga cecropioides* R. Sm. Ex R. Br., *Annickia spp.*, *Croton spp.*, *Pseudospondias spp* (Réjou-Méchain et al., 2021).

Les UFAs gérées par PW-CEB sont soumises à un climat de type équatorial avec une température moyenne annuelle de 25°C et des précipitations annuelles de 1700 mm/an (TerEA (Terre Environnement Aménagement), 2007). Elles sont majoritairement couvertes par des forêts sempervirentes mixtes et des forêts atlantiques sempervirentes. Ces deux types forestiers sont caractérisés par des espèces ayant des bois de densité plutôt élevée. Le premier type se singularise par l'abondance de *Fabaceae*, *Olacaceae* et *Myristicaceae* et des espèces suivantes : *Diogoia zenkeri* (Engl.) Exell & Mendonça, *Elaeis guineensis* Jacq., *Cryptosepalum spp.*, *Bikinia spp.* et *Ochthocosmus spp.* Le second type est caractérisé par une abondance de *Fabaceae*, *Burseraceae* et *Myristicaceae*, avec les *Calpocalyx spp.*, *Letestua durissima* (A. Chev. Lecomte), *Eurypetalum tessmannii* Harms, *Coula edulis* Bail. et *Tetraberlinia bifoliolata* (Harms) Hauman (Réjou-Méchain et al., 2021).

Partenariat, période d'activité et difficultés rencontrées

Le projet EHPval a fait l'objet du contrat C147 signé entre le PPECF et Gembloux Agro-Bio Tech, débutant le 04/02/2019. Les partenaires de mise en œuvre de ce projet sont l'Université des Sciences et Techniques de Masuku (USTM), le Centre de Recherche Agronomique wallon (CRA-w), l'Association Technique Internationale des Bois Tropicaux (ATIBT) et le collectif DYNAFAC. Les entreprises forestières partenaires et bénéficiaires sont les entreprises forestières Pallisco au Cameroun, ainsi que PW-CEB au Gabon.

La période de mise en œuvre du projet était initialement de 48 mois. Cependant, plusieurs éléments ont perturbé le bon déroulement des activités. Premièrement, les échantillons nécessaires à la caractérisation des propriétés du bois, préparés à PW-CEB en Juillet 2019, n'ont pu être livrés au CRA-w qu'en Octobre 2020. Le retard de livraison a impacté le début des essais physico-mécaniques pour plusieurs essences. Deuxièmement, la pandémie de Covid 19 a fortement restreint l'accès aux laboratoires durant l'année 2020. Elle a donc eu un impact sur l'avancement des activités 2.2. et 2.4. Pour finir, des difficultés ont été rencontrées pour l'obtention du visa du Doctorant Gaël Bibang Bengono depuis le Gabon vers la Belgique. Le chercheur a été bloqué durant 11 mois (Avril 2023 à Mars 2024) avant d'obtenir l'autorisation de poursuivre ses recherches sur le territoire belge. Ces éléments ayant retardé l'avancée du projet, il a finalement été mis en œuvre durant 60 mois, soit de Février 2019 à Février 2024.

Dans ce rapport, les résultats ainsi que les activités réalisées sont présentés en suivant le cadre logique du projet (**Tableau 1**).

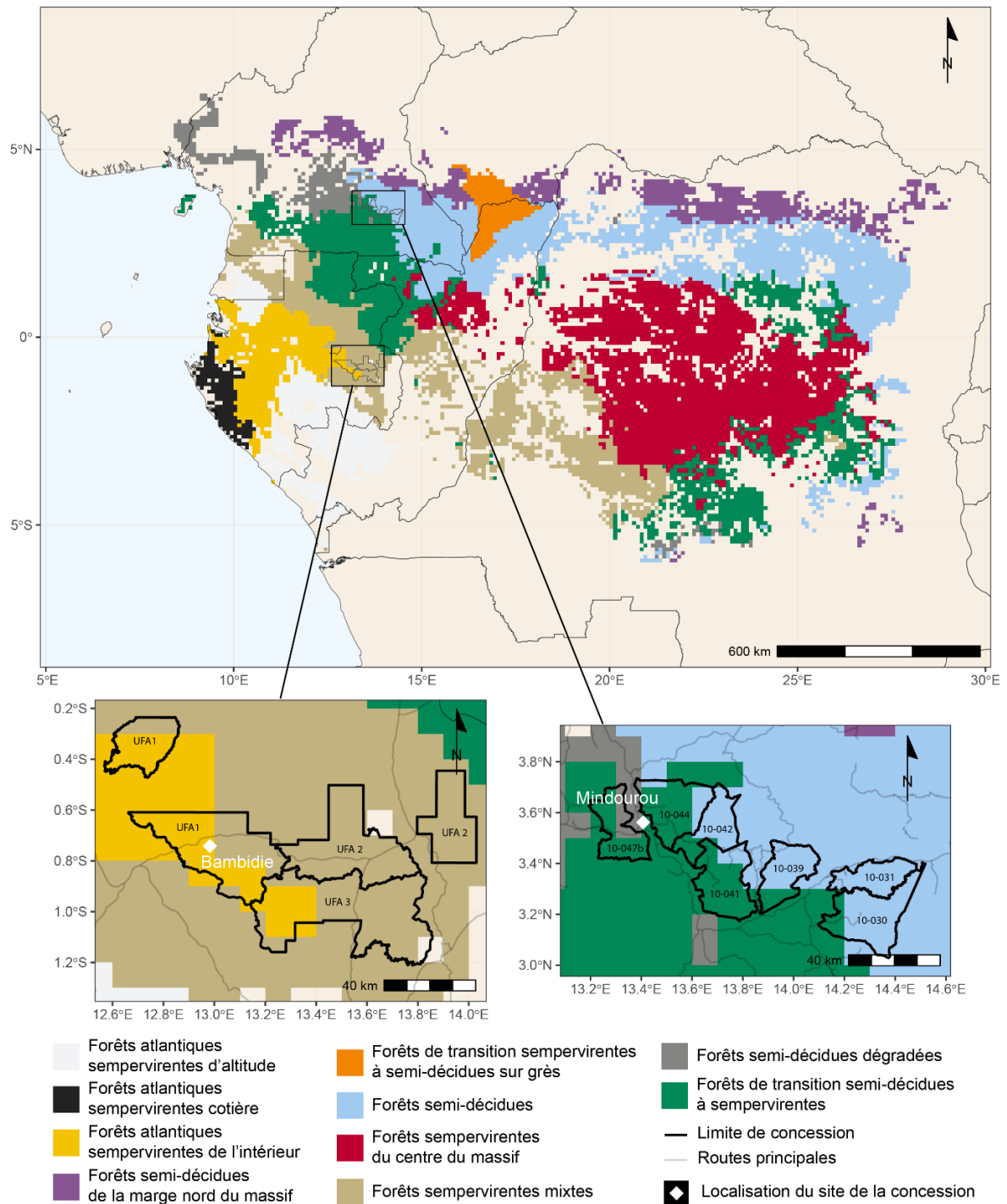


Figure 2 : Localisation des deux sites d'étude dans les grands types forestiers d'Afrique Centrale (Réjou-Méchain et al., 2021).

Tableau 1 : Calendrier des activités menées durant la mise en œuvre du projet EHPval

Résultats	Activités	Mise en œuvre									
		2019-2020		2020-2021		2021-2022		2022-2023		2023-2024	
		S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
Résultat 1 : Cinq essences candidates sont identifiées en concertation avec les industriels, sur la base de leurs structures de population (indicatrices de la régénération), de leurs dynamiques de population, des données dendrométriques disponibles et de leur morphologie.	Activité 1.1 : Analyse des structures des populations issues des inventaires d'aménagement de CEB-PWG										
	Activité 1.2 : Modélisation de l'évolution de ces structures en intégrant les paramètres de dynamique issus du projet P3FAC										
	Activité 1.3 : Sélection des espèces candidates										
Résultat 2 : Des molécules présentes dans les produits connexes ligneux issus de la transformation sont identifiées et leurs usages déterminés	Activité 2.1 : Sélection des coproduits à valoriser										
	Activité 2.2 : Analyse de la composition chimique (database)										
	Activité 2.3 : Extraction et caractérisation des molécules										
	Activité 2.4 : Etude des propriétés des molécules (fonctionnalisation)										
Résultat 3 : Les propriétés physiques, technologiques et de durabilité naturelle du bois des essences considérées sont identifiées	Activité 3.1 : Découpe et transport des plateaux de cœur										
	Activité 3.2 et 3.3 : Etude des propriétés physico-mécaniques et de durabilité des bois										
Résultat 4 : Les contraintes techniques et commerciales liées à la valorisation de nouvelles espèces sont identifiées et résolues	Activité 4.1 : Identification des contraintes techniques dans les unités de transformation										
	Activité 4.2 : Mise en œuvre de solutions techniques										
	Activité 4.3 : Actions de promotion										

Résultat 1 : Cinq essences candidates sont identifiées en concertation avec les industriels, sur la base de leurs structures de population (indicatrices de la régénération), de leurs dynamiques de population, des données dendrométriques disponibles et de leur morphologie

Activités 1.1 et 1.3. : Analyse des structures de populations issues des plans d'aménagement de CEB-PWG et Pallisco-CIFM et sélection des espèces cibles

a) Descriptif de l'activité

Une analyse des structures de populations d'espèces peu connues et potentiellement valorisables (LKTS) a été réalisée pour deux types représentatifs des forêts d'Afrique centrale (forêts sempervirentes à PW-CEB et semi-décidues à Pallisco). Les espèces étudiées sont des espèces répondant à un ou plusieurs des critères suivants : (i) intérêt marqué de la société forestière partenaire, (ii) propriétés du bois peu connues, (iii) présence supposée de molécules intéressantes compte tenu de caractéristiques particulières (présence de latex, gomme, résine,...)

L'analyse a permis d'évaluer (i) le potentiel de régénération naturelle des espèces, (ii) la densité de pieds exploitables ainsi que (iii) la nécessité de mettre en place des mesures sylvicoles particulières dans le cas où l'espèce serait exploitée.

b) Résultats

Pour la concession de Pallisco (forêt semi-décidue), deux essences ont été retenues : l'Eyeck et le Mubala. Leurs structures de population a été évaluée sur base des inventaires d'aménagement des UFAs 10-041,42 et 44 regroupées ().

L'Eyeck (*Pachyelasma tessmannii* Harms) est un arbre de la famille des *Fabaceae*, sous-famille des *Caesalpinioideae*. Il est appelé également appelé Faux-Tali au Cameroun et Mekhogo au Gabon. C'est la seule espèce reprise sous l'appellation commerciale « Eyeck ». Cet arbre, pouvant atteindre 60 m de haut et 2,5 m de diamètre, est un des plus grands des forêts d'Afrique Centrale (**Figure 3**). Son tronc est généralement droit et cylindrique, parfois déformé, avec des contreforts droit bien développés. L'Eyeck est distribué dans le sous-centre d'endémisme centroguinéen (**Figure 3**). Son tempérament est encore débattu. Certains auteurs le classent comme tolérant à l'ombrage alors que la variation radiale de son infradensité est plutôt comparable à celle d'une héliophile longévive (Doucet et al., 2021; Fayolle et al., 2012; Hubau et al., 2012). Le bois de cette espèce n'est que peu valorisé localement et ses propriétés demeurent inconnues. Ses fruits, une fois pilés, sont utilisés au Cameroun pour réaliser des lavements antidiarrhéique ou abortifs. Au Gabon et en RDC, les fruits et son écorce sont également utilisés comme puissant poison de pêche (Louppe, Oteng-Amoako, & Brink, 2008). Au Cameroun, le DME de cette espèce est de 50 cm (MINFOF, 2001). Sur le site d'étude, l'Eyeck possède une structure de population plutôt erratique et donc une faible régénération naturelle. Dans le cas d'une exploitation industrielle, des mesures sylvicoles particulières devraient être appliquées. Le nombre de pieds exploitables à l'hectare ($\varnothing > 50$ cm) est assez faible avec 0,13 arbres/ha.

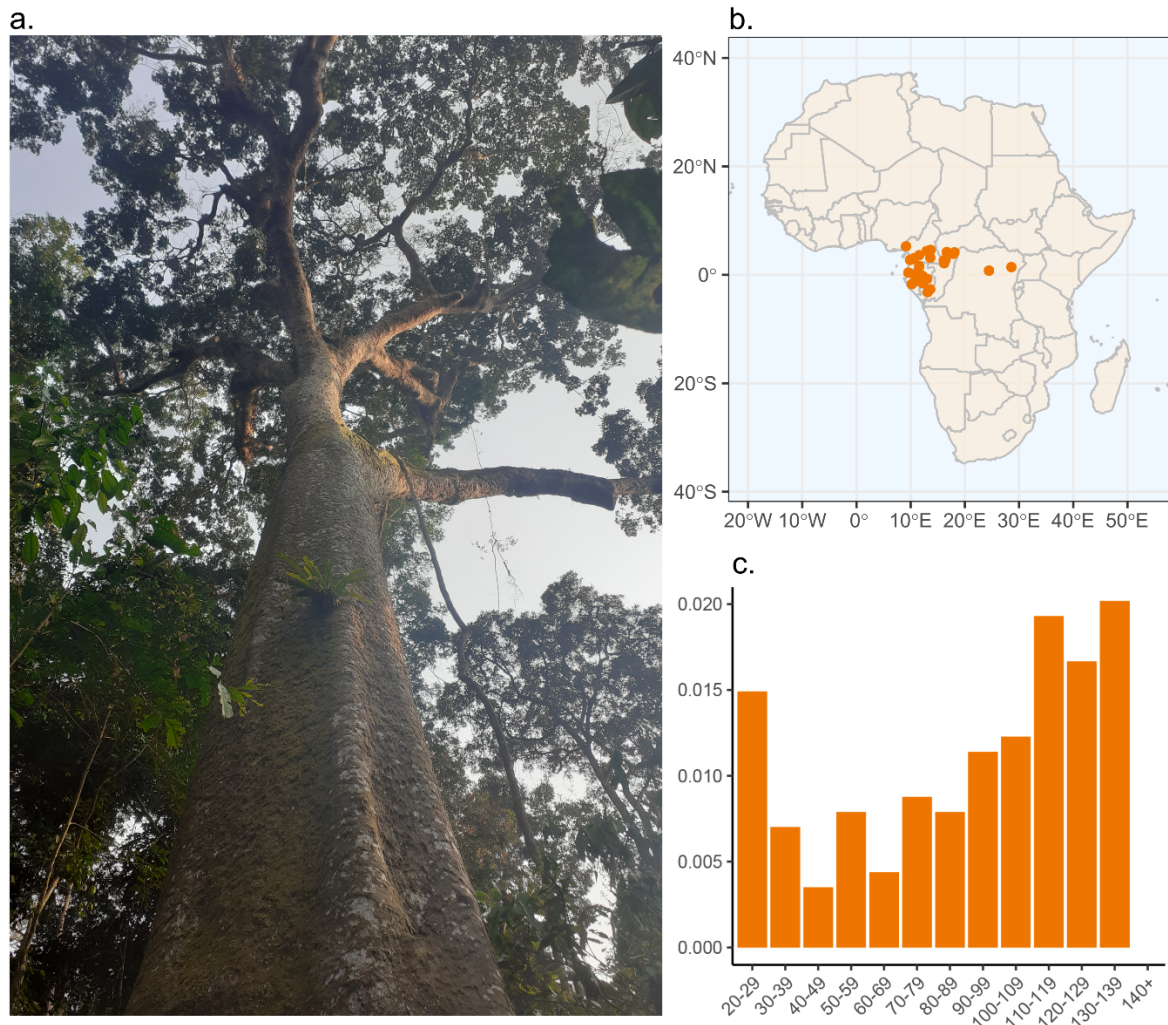


Figure 3: a. Fût de l'Eyek, b. distribution géographique de l'espèce et c. structure de population dans les UFAs 10-041,42 et 44 regroupées de Pallisco (arbre/ha en fonction de la classe de diamètre).

Le Mubala (*Pentaclethra macrophylla* Benth.) est un arbre de la famille des *Fabaceae*, sous-famille des *Caesalpinioideae*. Il est appelé Mubala au Cameroun, Owala en Côte d'Ivoire, Essiri au Congo ou African oil bean en anglais (ATIBT, 2016). C'est la seule espèce reprise sous le nom commercial « Mubala ». C'est un arbre de dimension moyenne, atteignant 30 m de haut et rarement plus d'1,2m de diamètre. Son tronc est irrégulier, souvent bosselé, généralement avec présence d'empatement, parfois de contreforts. Cette espèce a une large distribution couvrant toute la région guinéo-congolaise (Figure 4). L'espèce tolérerait une gamme assez large de luminosité au stade juvénile et les graines sont majoritairement dispersées par explosion de la gousse (Meunier et al 2015). Son bois n'est pas valorisé, contrairement à ses graines qui sont localement très recherchées et font parfois l'objet d'un commerce. Elles peuvent être bouillies ou rôties et entrent dans la composition de sauces diverses. Au Cameroun, le DME de *P. macrophylla* est de 50 cm (MINFOF, 2001). Selon le rapport de FRM (2018), cette espèce serait, en volume mobilisable par année, la 14^e espèce la plus importante des espèces secondaires avec 206.804 m³ sur l'ensemble du Bassin du Congo. Sur le site d'étude, le Mubala a une bonne régénération naturelle et une bonne densité de pieds exploitables ($\varnothing > 50$ cm) de 1,9 arbres/ha.

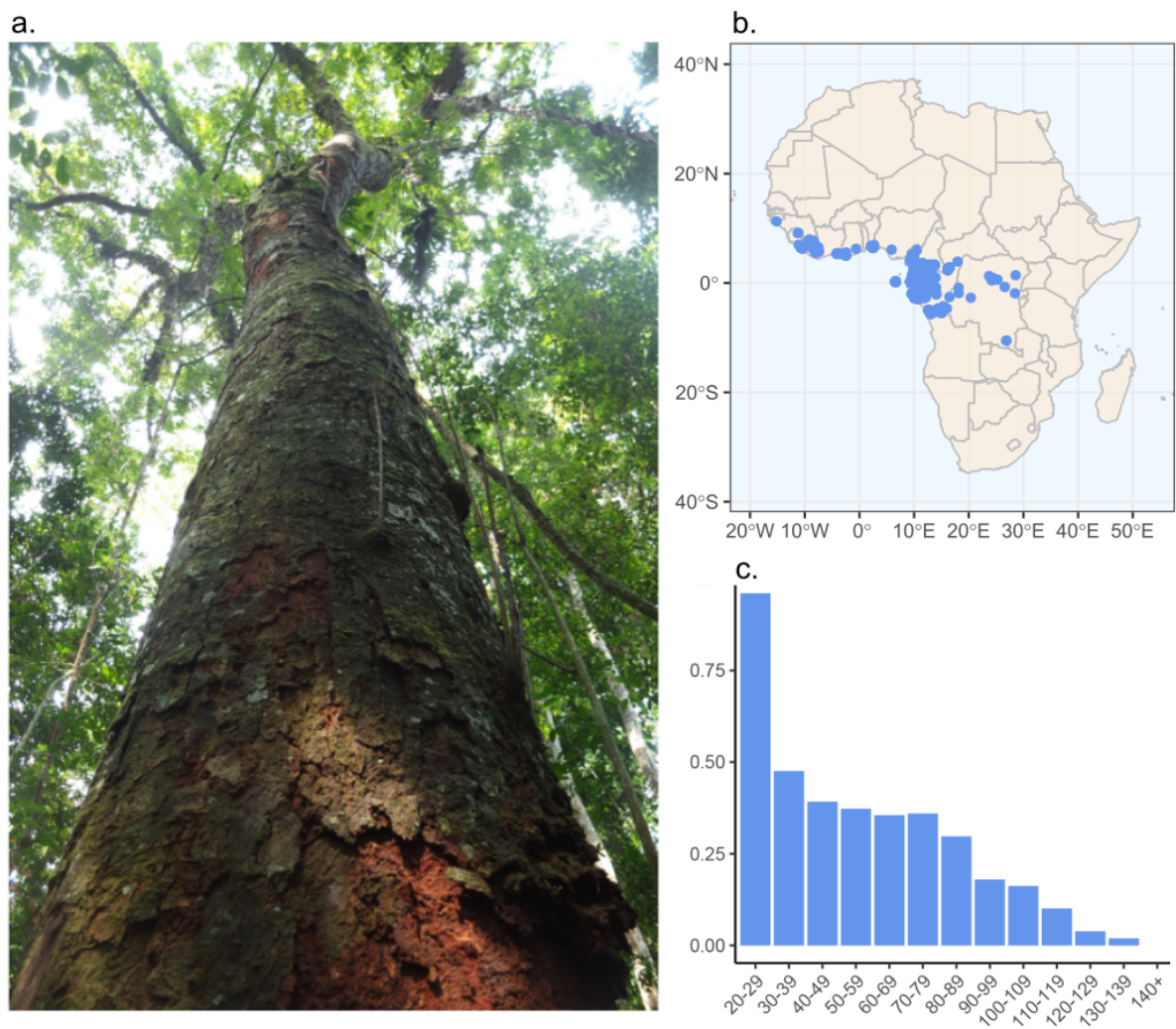


Figure 4: a. Fût du Mubala, b. distribution géographique de l'espèce et c. structure de population dans les UFAs 10-041,42 et 44 regroupées de Pallisco (arbre/ha en fonction de la classe de diamètre).

Pour la concession de PW-CEB (forêt sempervirente), trois essences ont été retenues : l'Eveuss, le Sorro et l'Eyoum (plus précisément le sous-groupe des Omvong). Leurs structures de population ont été évaluées sur base de l'inventaire d'aménagement de l'UFA 2 ().

L'Eveuss est une appellation commerciale comprenant deux espèces : *Klainedoxa gabonensis* et *Klainedoxa trilesii* (ATIBT, 2016). Dans le cadre de ce projet, seul *K. gabonensis* a été retenu car plus abondant sur le site d'étude. Pour la suite du rapport, l'appellation Eveuss ne concernera donc plus que cette espèce. L'Eveuss est un arbre de la famille des *Irvingiaceae*. Cet arbre est appelé Eveuss au Gabon et au Cameroun, Ngon au Cameroun, Kuma-Kuma au Congo et en RDC, Oboro en Centrafrique ou Odudu au Nigeria. C'est un arbre de grande dimension atteignant 50 m de hauteur et 1,5m de diamètre. Son fût est assez cylindrique avec des contreforts souvent importants à la base. L'espèce est largement distribuée dans toute la région guinéo-congolaise (Figure 5). Elle serait héliophile et majoritairement dispersée par les éléphants (Meunier et al., 2015 ; Scalbert et al., 2023) . Son bois est dense et réputé très durable. Toutefois, la présence de bois de transition entre l'aubier et le duramen semble relativiser sa durabilité (Meunier et al., 2015). Au Gabon, son DME est de 70 cm (MEFEPEPN, 2004). Cette espèce serait la 4^e espèce la plus mobilisable des espèces secondaires avec 549.142 m³ de grumes par an dans les forêts du Bassin du Congo (FRM, 2018) . Sur le site d'étude, l'espèce présente une bonne régénération naturelle et une densité de pieds exploitables ($\varnothing > 70$ cm) de 0,16 arbres/ha.

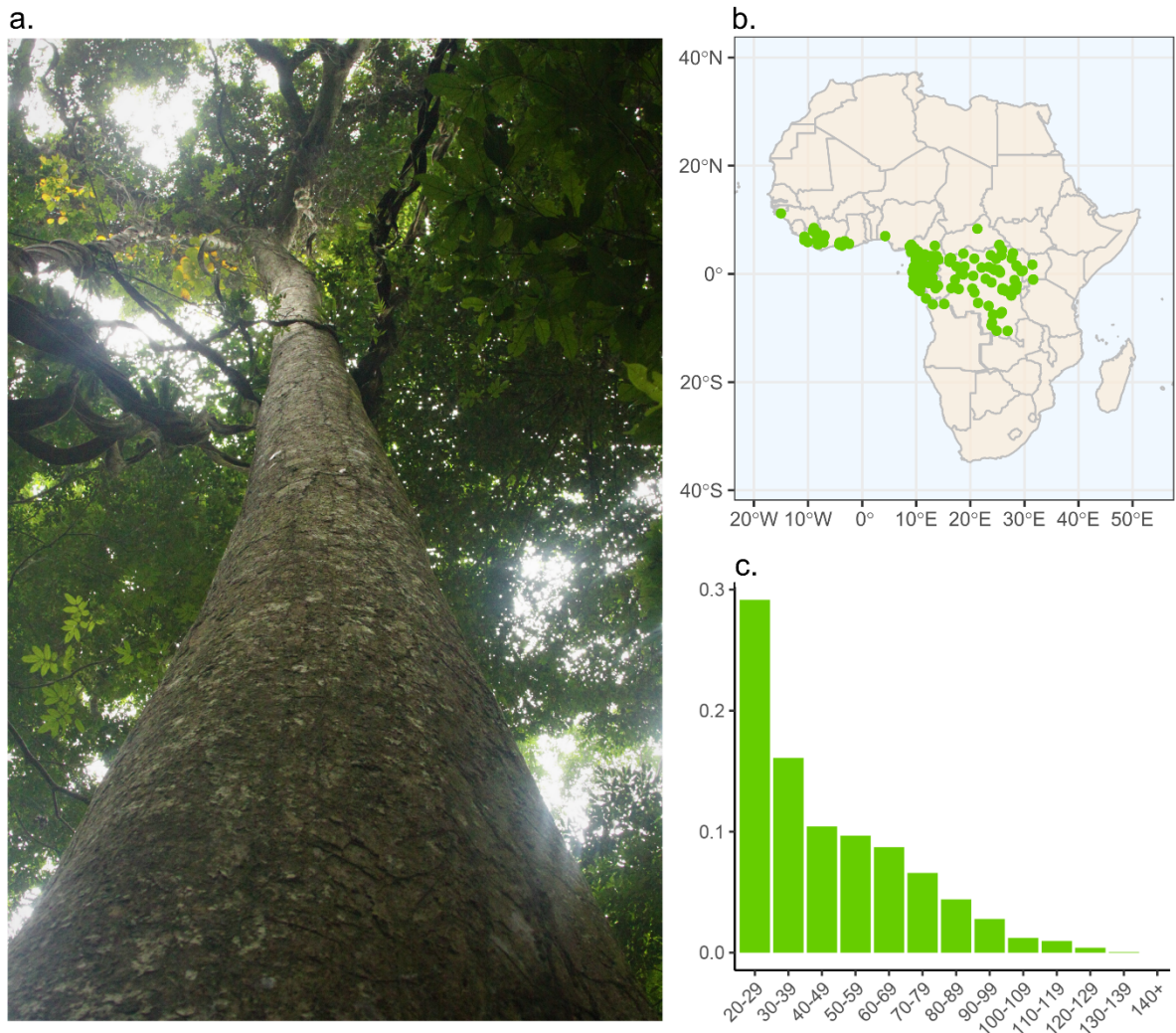


Figure 5: a. Fût de l'Eveuss, b. distribution géographique de l'espèce et c. structure de population dans l'UFA 2 de PW-CEB (arbre/ha en fonction de la classe de diamètre).

L'Ossoko (*Scyphocephalum mannii*) est un arbre de la famille des *Myristicaceae*. Il est appelé Sorro, Ossoko, Sogho ou encore N'Suku au Gabon. Au Cameroun, il est nommé Akurna ou Eboukzok. C'est la seule espèce reprise sous l'appellation commerciale « Ossoko ». C'est un arbre de hauteur moyenne, atteignant 35m de haut et jusque 1,5m de diamètre. Son tronc présente une section cannelée (étoilée) à la base et parfois jusque 5m de haut en fonction de la taille de l'individu. L'espèce n'est présente qu'au Cameroun et au Gabon (Figure 6). Son bois est localement utilisé pour la fabrication de pirogues. Ses fruits sont utilisés pour condimenter des sauces et son écorce sert à la médecine traditionnelle. Au Gabon, son DME est de 60 cm (MEFEPEPN, 2004). Selon FRM (2018), la conformation des arbres rend difficile sa valorisation, mais cette espèce est la 6^e espèce la plus importante (espèces secondaires et commerciales confondues) en termes de volume mobilisable par année avec 1 à 1,5 million de mètres cubes de grumes. Sur le site d'étude, l'Ossoko présente une densité d'arbres exploitables ($\varnothing > 60$ cm) très élevée de 3,62 arbres/ha. Il a néanmoins un ralentissement de la régénération naturelle. Des mesures sylvicoles particulières devraient donc être mises en place si l'espèce était exploitée.

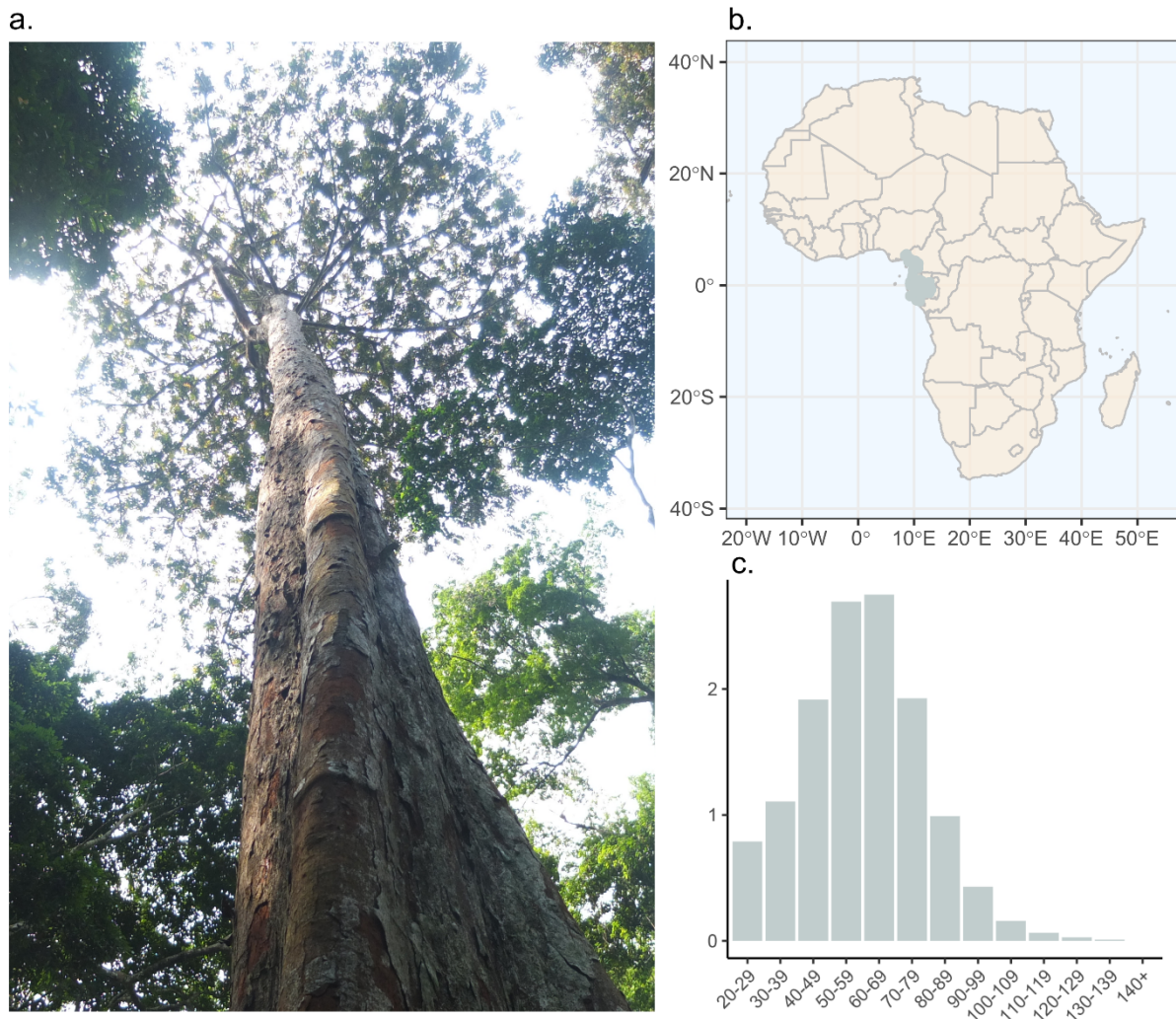


Figure 6: a. Fût de l'Ossoko, b. distribution géographique de l'espèce et c. structure de population dans l'UFA 2 de PW-CEB (arbre/ha en fonction de la classe de diamètre).

Les Eyoum (*Dialium spp.*) sont classés dans la famille des *Fabaceae*, sous-famille des *Dialioideae*. Durant le projet, une synthèse bibliographique des connaissances sur ce genre en Afrique Centrale a été publiée dans la revue *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement* (BASE). Cette synthèse est disponible à l'**Annexe A** ou en consultant le lien suivant : <https://hdl.handle.net/2268/262530>. En considérant les incertitudes taxonomiques et les travaux récents sur la classification génétique des *Dialioideae*, 22 espèces seraient présentes dans la région guinéo-congolaise. La **Figure 7** présente la distribution géographique par sous-centre d'endémisme (White, 1979, 1986, 1993) des 21 espèces pour lesquels les données d'occurrence sont disponibles. Néanmoins, au cours de ce projet, une nouvelle espèce de *Dialium*, restreinte aux forêts denses humides gabonaises, a été découverte dans les forêts de PW-CEB. Cette dernière était confondue avec 3 autres espèces (*Dialium polyanthum*, *Dialium lopense* et *Dialium pachyphyllum*) sous l'appellation Omvong. Au Gabon, cette appellation correspond aux *Dialium* ayant des feuilles composées de 5 folioles. Durant ce projet, la nouvelle espèce a été distinguée des autres espèces proches par un travail de fin d'étude et deux publications scientifiques. Le travail de fin d'étude de Marius Ruwet, axé sur la différenciation morphologique, spectrale et génétique des *Dialium* est disponible à l'**Annexe B** ou en consultant le lien suivant : <http://hdl.handle.net/2268.2/13675>. Le premier article scientifique, portant sur la distinction des feuilles et du bois des espèces exploitables, a été publié dans la revue *Forests* et est disponible à l'**Annexe C** ou en consultant le lien suivant : <https://hdl.handle.net/2268/294659>. La seconde publication dresse une description complète de la nouvelle espèce, distingue son écologie de celle des

espèces proches et évalue sa phylogénie. Cette publication est en cours de relecture par les co-auteurs pour une soumission dans la revue *Taxon* prochainement. Les premiers résultats sont néanmoins disponibles au Chapitre 3 de la thèse de Doctorat de Robin Doucet (**Annexe D** ou en consultant le lien suivant : <https://hdl.handle.net/2268/315947>). Dans cette dernière publication, la nouvelle espèce a été nommée *Dialium bambidiense* en référence au nom du village hébergeant la société forestière partenaire PW-CEB. Bien que la publication ne soit pas encore acceptée, nous utiliserons ce nom dans la suite du document par soucis de simplicité. La synthèse l'ensemble des critères de distinction morphologiques et écologiques identifiés entre les Omvong des forêts de PW-CEB. Les *Dialium* à 5 folioles étant les seules espèces étudiées au cours de ce projet, nous préférons le terme Omvong au terme commercial Eyoum dans la suite du document pour éviter les amalgames.

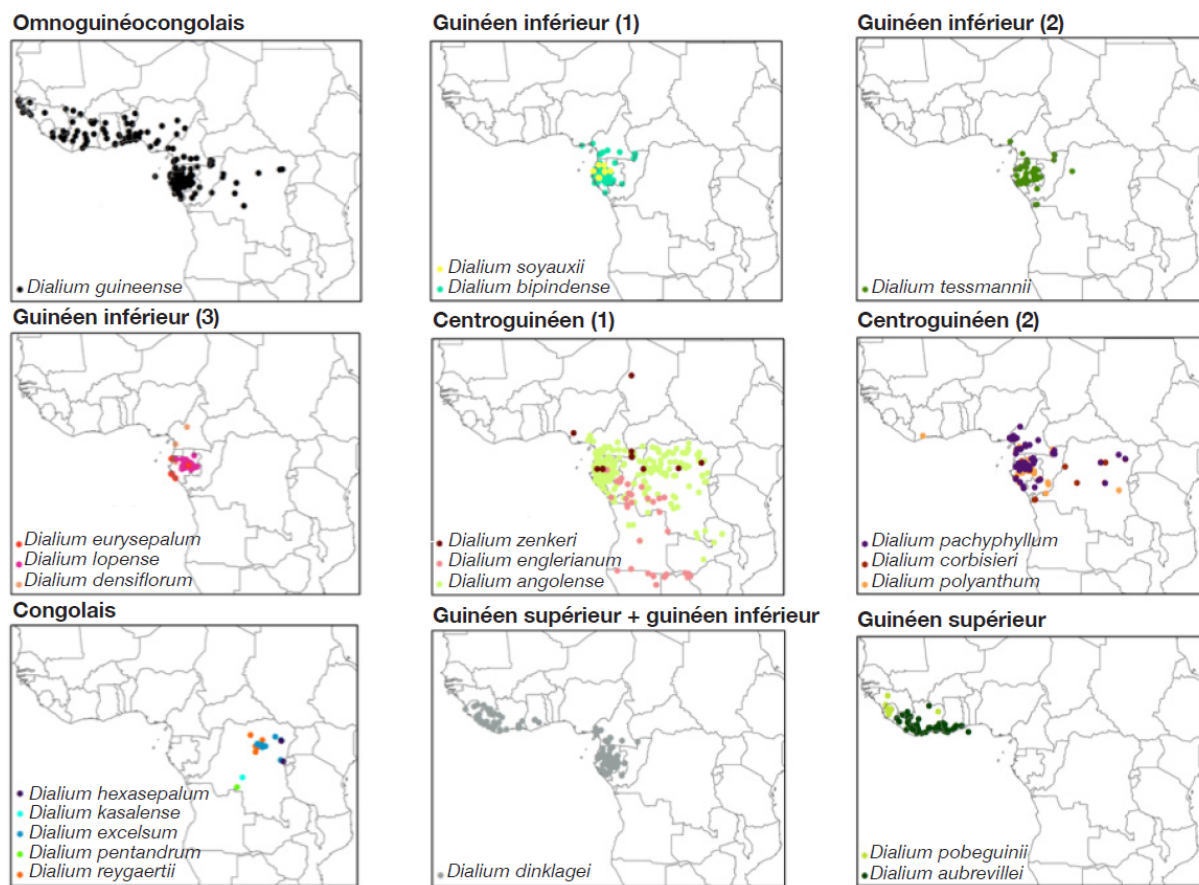


Figure 7: Représentation de la distribution géographique des *Dialium* par sous-centre d'endémisme dans la région guinéo-congolaise. Les points d'occurrence proviennent des bases de données du Conservatoire et Jardin Botaniques de la Ville de Genève (CJBG, 2020), du Catalogue of Life Partnership via Global Biodiversity Information Facility (GBIF, 2020) et de la base de données RAINBIO (ArcGis version 10.4.1).

Les Omvong sont généralement connus comme ayant des bois résistants aux attaques de champignons lignivores, insectes et térébrants marins (Gérard, Guibal, Paradis, & Cerre, 2016; Meunier et al., 2015). Leur masse volumique est élevée et s'accompagne de hautes résistances mécaniques les rendant aptes pour les travaux lourds ou industriels. Bien que leurs bois présentent des propriétés intéressantes, leurs volumes commercialisés restent faibles. Cela pourrait notamment être dû au caractère abrasif du bois ou aux variations de durabilité naturelle entre les espèces (Gérard et al., 2016). Ils sont cependant utilisés localement pour : la construction de maison, de mortiers, de manches d'outils traditionnels, la production de charbon de bois ou pour le bois de chauffage. Au Gabon, toutes les espèces de *Dialium* ont un DME de 70 cm (MEFEPEPN, 2004). Selon FRM (2018), l'Omvong, serait la 10^e essence secondaire la plus importante en Afrique centrale avec 321.325 m³ de grumes mobilisables par an. Sur le site d'étude, les 4 espèces d'Omvong n'ont pas été différenciées durant l'inventaire

d'aménagement. La structure de population de chaque espèce a donc été estimée en ré-identifiant tous les Omvong dans les 16 ha du dispositif de suivis DYNAFAC, situé dans l'UFA 2. Il ressort que l'espèce la plus abondante dans le dispositif est *D. pachyphyllum* (14,4 arbres/ha). Cette espèce a une très bonne régénération naturelle () mais n'atteint pas le DME du Gabon et n'est donc pas exploitable. La deuxième espèce la plus représentée est *D. polyanthum* (2,94 arbres/ha). Cette espèce atteint les dimensions d'exploitabilité et possède une bonne régénération naturelle. Aucune mesure sylvicole particulière ne semble donc à prévoir pour cette espèce en cas d'exploitation. Ensuite, *D. bambidiense* n'est présent dans le dispositif qu'à raison d'1,75 arbres/ha. Cette espèce a une proportion importante de sa population dans les classes de grands diamètres avec un ralentissement de la régénération naturelle. Si une exploitation de cette espèce est envisagée, des mesures sylvicoles particulières devraient être mises en place pour assurer sa régénération. Finalement, *D. lopense* n'a pas été observé dans les 16 ha de forêts inventoriées. Sa densité est donc supposée très faible (<0,06 arbres/ha).

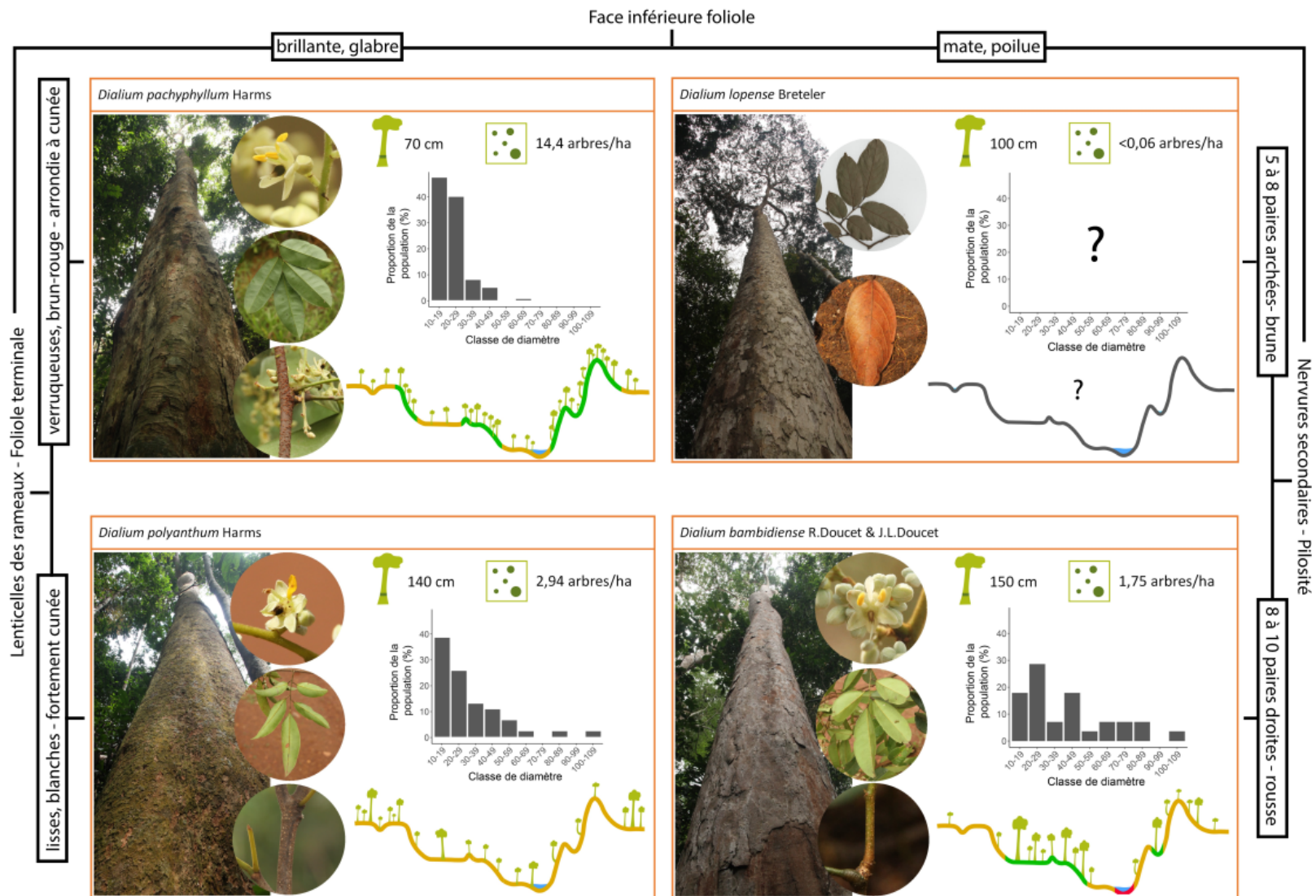


Figure 8: Clef d'identification des Omvong à PW-CEB sur base de matériel stérile et récapitulatif de l'écologie connue de chaque espèce.

Activité 1.2 : Modélisation de l'évolution de ces structures en intégrant les paramètres de dynamique issus du projet P3FAC

a) Descriptif de l'activité et méthodes

L'évolution des populations sur le moyen terme devrait pouvoir être modélisée sur base des paramètres démographiques (croissance, mortalité, recrutement) obtenus dans le cadre du projet DYNAFAC.

La croissance des arbres a donc été étudiée dans deux dispositifs du collectif DYNAFAC. Pour les espèces étudiées à PW-CEB, le dispositif de Bambidie, situé dans l'UFA 2 de la concession forestière, a été utilisé. Pour le Mubala (concession forestière Pallisco), c'est le dispositif de Loundoungou qui a été préféré car se situant en forêt semi-décidue, au même titre qu'une partie des UFAs de Pallisco (**Figure 9**). En l'absence de données de croissance de l'Eyeke, c'est l'accroissement annuel moyen proposé par l'administration camerounaise qui a été utilisé. En complément, la croissance de l'Eveuss et des Omvong a également été étudiée par analyse de cernes dans le cadre d'un travail de groupe d'étudiants de 2^{ème} Master de Gembloux Agro-Bio Tech.

Le nombre d'arbres suivis étant limité pour la plupart des essences (à l'exception du Mubala et de l'Ossoko), un taux commun (appelé *turnover*) de 1% (Ligot et al., 2022) a été choisi pour la mortalité et le recrutement des essences du projet. Pour le Mubala et l'Ossoko, c'est la moyenne des arbres recrutés et des arbres morts sur la durée du suivi qui a été utilisée comme *turnover*.

La dynamique de la population sous le régime d'exploitation actuel a ensuite été modélisée en intégrant ces paramètres dans un modèle matriciel d'Usher. Pour évaluer la pérennité du potentiel économique de ces espèces sur le moyen terme, la notion de qualité des arbres, telle qu'utilisée dans les inventaires d'aménagement, a été intégrée dans la modélisation. Durant les inventaires d'aménagement, une classe de qualité de A (arbre les mieux conformés, dont les rendements de transformation attendus sont les plus hauts) à D (arbres non exploitables) est attribuée à chaque arbre. Elle permet d'estimer la proportion d'arbres réellement valorisables. Cette notion a été intégrée dans la modélisation en utilisant trois hypothèses simplificatrices : (i) les arbres d'une qualité donnée ne participent qu'au recrutement des arbres de la même qualité, (ii) l'exploitant prélève systématiquement tous les arbres de la plus haute qualité avant de prélever des arbres de qualité inférieure et (iii) la transformation des arbres de qualité C est considérée comme non-rentable dans les unités de transformation actuelles. Sur base de tous ces paramètres, deux scénarios ont été envisagés :

- Le scénario « actuel » : Scénario représentant la situation actuelle des sociétés forestières. Dans celui-ci, l'exploitant n'a aucune certitude quant à la possibilité d'exploiter la forêt après la première rotation. Dans ce cas, il va maximiser le prélèvement d'arbre dont la transformation est rentable (qualité A et B) à la première rotation, tout en respectant les taux de reconstitution légaux ;
- Le scénario « prudent » : Scénario dans lequel la reconstitution sur le moyen terme des arbres dont la transformation est rentable (qualité A et B) est la priorité.

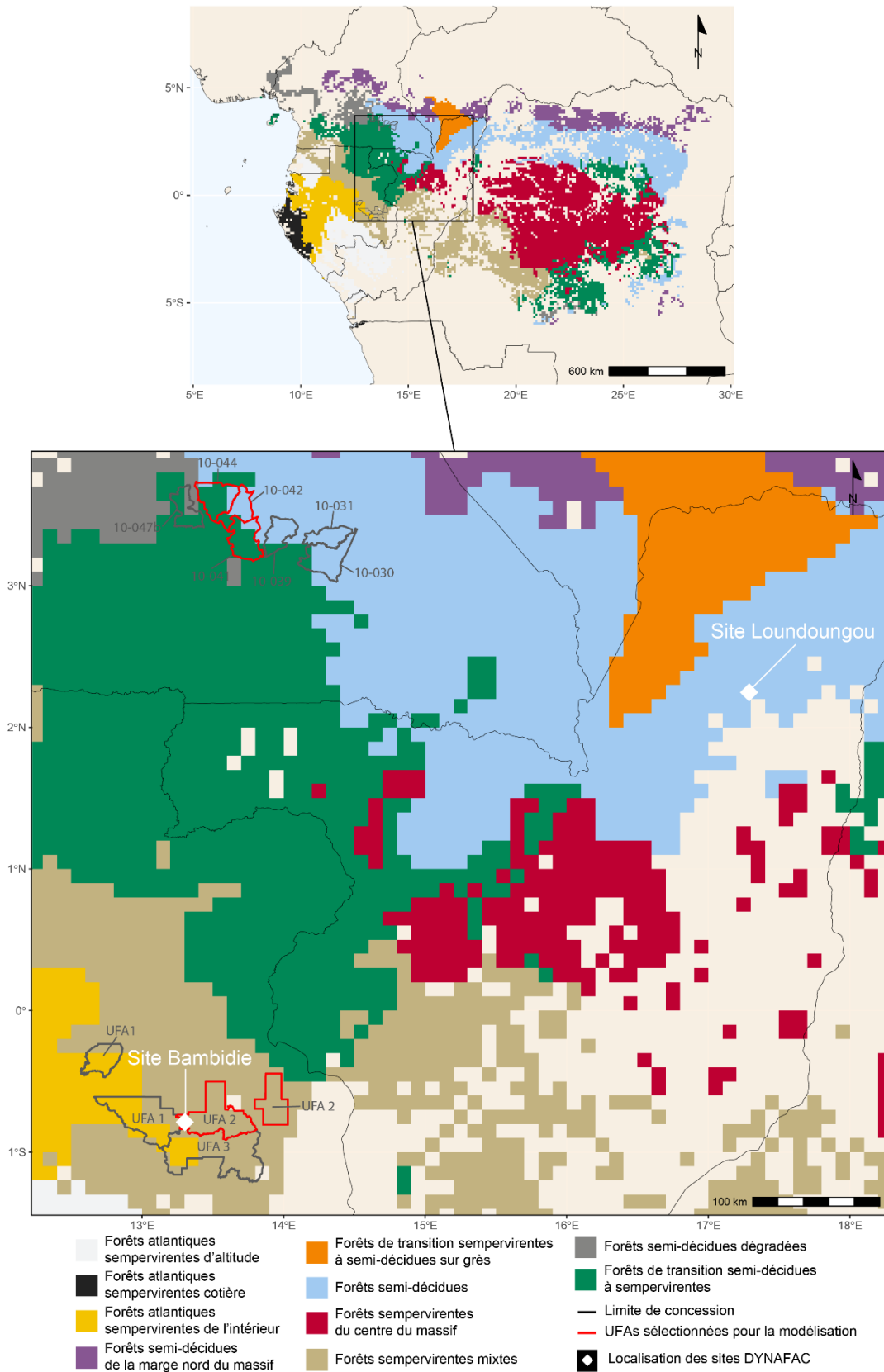


Figure 9 : Localisation des dispositifs DYNAFAC utilisés pour mesurer la croissance des espèces et des UFAs dont l'inventaire d'aménagement a été utilisé pour modéliser l'évolution des populations.

b) Résultats

Les méthodes et les résultats obtenus pour cette activité sont repris dans le Chapitre 6 de la thèse de Robin Doucet (**Annexe D** ou en consultant le lien suivant : <https://hdl.handle.net/2268/315947>). Les résultats quant à la croissance des Omvong et des Eveuss par étude des cernes sont également disponibles dans le rapport des étudiants (**Annexe E**).

Les différentes espèces d'Omvong n'ayant pas été différenciées durant les inventaires d'aménagement, l'évolution de leurs populations sous exploitation n'a pas pu être modélisée. En considérant les hypothèses et paramètres utilisés pour la construction des modèles, une production rentable de l'Eveuss, de l'Ossoko et du Mubala est envisageable sur le moyen terme. Les paramètres d'aménagement, les volumes prélevés et les taux de reconstitutions estimés sont présentés dans le **Tableau 2** pour chaque essence, dans les deux scénarios. L'évolution de la densité d'arbres au-dessus du diamètre minimum d'aménagement (DMA) et des volumes exploités à chaque rotation de chaque essence sont présentés aux

Figure 10 à Figure 13.

Tableau 2 : Présentation des deux scénarios. α est le coefficient d'exploitation, DMA est le diamètre minimum d'aménagement, R_1 est le taux de reconstitution à la première rotation, V_1 est le volume prélevé lors de la première exploitation (m^3/ha), R_4 est le taux de reconstitution après 4 rotations (%), V_a , V_b et V_c sont les volumes moyens collectés au cours des 4 rotations pour les classes de qualité a, b et c ($m^3/ha/rotation$).

Essences	Scénario situation actuelle								Scénario situation prudente							
	DMA	R_1	V_1	R_4	V_a	V_b	V_c	DMA	R_1	V_1	R_4	V_a	V_b	V_c		
Eveuss	80	70	59	0,94	40	0,33	0,16	0,035	65	90	93	0,37	102	0,24	0,1	0
Sorro	50	120	385	0,56	3776	1,88	3,67	0,621	40	120	391	0,45	3998	1,88	3,22	0
Mubala	20	100	171	0,78	211	0,04	0,85	0,592	10	100	179	0,39	240	0,04	0,76	0
Eyek	40	90	41	0,66	6	0,09	0,1	0,078	35	140	58	0,18	14	0,05	0,05	0

En faisant l'hypothèse que seuls les arbres des qualités A et B restent rentables au fil des rotations, les scénarios prudents permettent de maintenir une production d'arbres rentable constante, ou en augmentation (à l'exception de l'Eyek), sur le moyen terme en évitant de prélever des arbres de qualité C. Ce scénario implique néanmoins une réduction systématique du coefficient d'exploitation par rapport au scénario actuel. En renonçant à une partie volume rentable dès la première rotation, l'exploitant assure une production totale constante ou en augmentation au fil des rotations. De plus, ce scénario permet parfois d'exploiter le même volume moyen de qualité A que les scénarios actuels (Mubala et Sorro) et un volume légèrement inférieur à la qualité B. Malheureusement, cette perspective n'est envisageable qu'en adoptant une vision au-delà de la première rotation, ce qui n'est actuellement pas le cas en Afrique Centrale (Doucet 2003; Mabika et al. 2003; Karsenty and Gourlet-Fleury 2006a; Picard et al. 2012b). Le système actuel n'engage l'état et l'exploitant que pour la durée d'une rotation (Loupe and Mille 2015). Au-delà, ce dernier n'a aucune garantie de pouvoir continuer à exploiter la zone qui lui a initialement été concédée. Les incertitudes quant à la pérennité de leurs concessions (Karsenty and Vermeulen 2016) obligent les gestionnaires à rentabiliser leurs investissements dès la première rotation. Ces pressions économiques ne laissent alors que peu de marge de manœuvre pour la capitalisation d'un volume de qualité en forêt. De plus, les scénarios envisagés nécessitent de pouvoir choisir un coefficient d'exploitation pour modéliser l'évolution de la ressource. D'un point de vue légal, seule la RDC permet à l'exploitant de définir ce coefficient dans les plans d'aménagement. Dans la politique d'harmonisation d'une partie des lois forestière pour l'Afrique Centrale proposée par FRM (2018) et le Collectif DYNAFAC (2021), l'utilisation de ce taux pourrait

également être généralisée. Pour que le scénario prudent puisse être adopté, une attribution de la concession pour 2 ou 3 rotations serait également nécessaire.

Une deuxième hypothèse serait que l'arrivée de nouvelles technologies industrielles, survenant suite au découplage entre l'exploitation forestière et la transformation, permettent de valoriser les qualités inférieures (Karsenty et al. 2008; Collectif DYNAFAC 2021; Karsenty 2021). Dans ce cas, certains « scénarios actuels » permettraient également de maintenir une production soutenue sur le moyen terme. C'est le cas pour le Mubala et l'Ossoko. Pour ces espèces, le scénario actuel permet le maintien, voire l'augmentation des stocks exploitables, tout en évitant les arbres non exploitables (qualité D). En exploitant également la qualité C, il permet une production moyenne totale plus élevée que le scénario prudent. Il faut cependant nuancer cette conclusion pour l'Ossoko. Dans l'UFA 2, cette essence présente un déficit de régénération et le pic d'arbres exploitables est atteint juste après notre modélisation. Pour assurer le maintien d'arbres de cette essence sur le long terme, une régénération assistée doit effectivement être mise en place.

Le volume produit par arbre d'Eyeck compense sa faible densité de population et permet de produire des volumes équivalents aux autres espèces à la première rotation. Néanmoins sa structure de population vieillissante ne permet de reconstituer, au mieux, que 14% de stock initialement exploitable après 4 rotations. Dans le scénario actuel, il est légalement possible de ne reconstituer que 41% du stock à la première rotation, engendrant une reconstitution de seulement 6% du stock initialement exploitable après 4 rotations. Cette situation est possible à cause des règles d'aménagement actuellement en vigueur au Cameroun. Lors de l'élaboration du plan d'aménagement, 50 essences exploitables sont définies sur base de l'inventaire d'aménagement. Au sein de ces 50 essences, les 20 essences représentant plus de 75% du volume disponibles sont alors dites « aménagées » et leur exploitation est autorisée sous réserve d'un taux de reconstitution légal suffisant. Les 30 essences restantes, elles peuvent être exploitées à partir du DME, sans aucune restriction sur leur reconstitution. Ces espèces moins représentées sont généralement aussi les espèces les moins étudiées. Par manque de connaissance elles se voient systématiquement attribuer un DME de 50 cm (MINFOF 2001). Dans le cas de l'Eyeck cette situation est problématique car la majorité de la population dépasse 50 cm sur le site d'étude. Les arbres monumentaux exploités, et composant majoritairement sa population, contribuent à la structure verticale des forêts, moteur clé de la diversité biologique de plusieurs taxons (Yuan et al. 2012; Gouveia et al. 2014; Martins et al. 2017). Les intérêts économiques à très court terme qu'offre cette espèce ne justifient pas de sacrifier son rôle écologique. Nous recommandons d'être extrêmement prudent si son exploitation est envisagée, en limitant au maximum les prélèvements et en compensant le manque de régénération. Bien que ses besoins en lumière soient encore débattus (Hubau et al. 2012; Fayolle et al. 2012; Doucet et al. 2021), la recrudescence du recrutement observée pourrait coïncider avec le début de l'exploitation de cette zone dans les années 90 (Fétéké et al., 2004). L'ouverture de la canopée suite aux opérations forestières aurait fourni des conditions d'éclairement suffisantes pour sa régénération. Les graines de l'espèce sont effectivement dormantes et germent dans les trouées où les semenciers ont été abattus (Neve, 2023). En conséquence, cette espèce serait plutôt recommandée pour les opérations de reboisement.

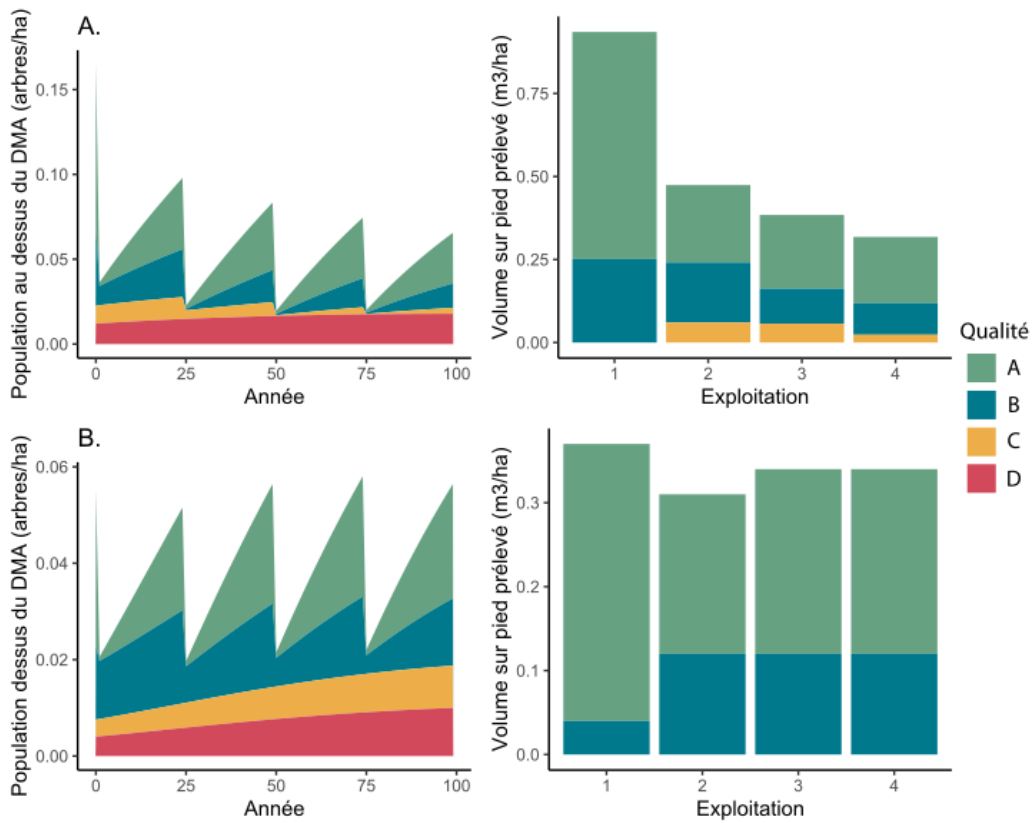


Figure 10: Evolution de la population au-dessus du DMA et des volumes prélevés à chaque rotation de l'Eveuss. A. Scénario actuel B. Scénario prudent.

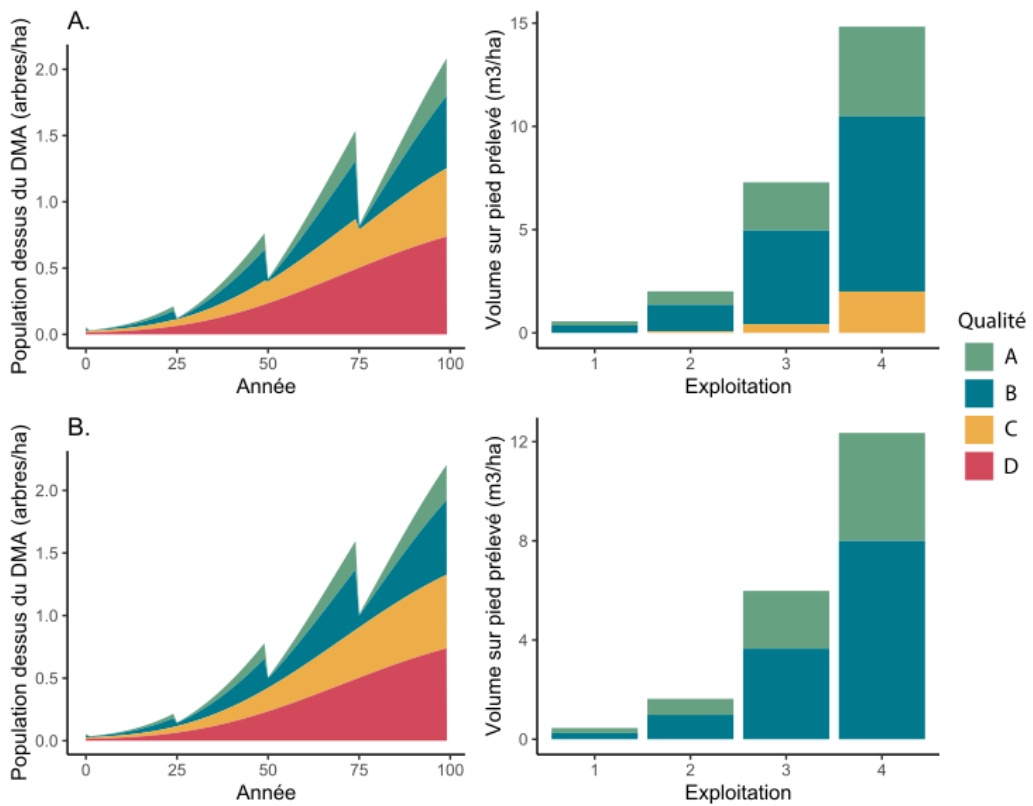


Figure 11: Evolution de la population au-dessus du DMA et des volumes prélevés à chaque rotation de l'Ossoko. A. Scénario actuel B. Scénario prudent

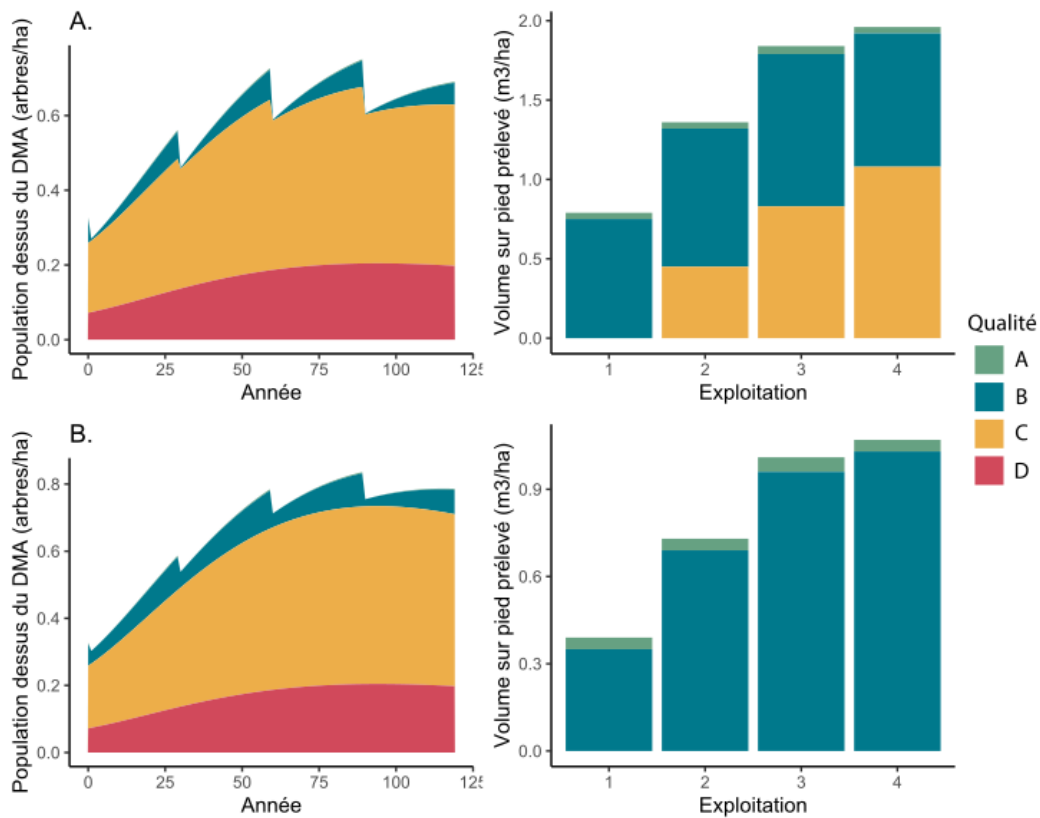


Figure 12: Evolution de la population au-dessus du DMA et des volumes prélevés à chaque rotation du Mubala. A. Scénario actuel B. Scénario prudent

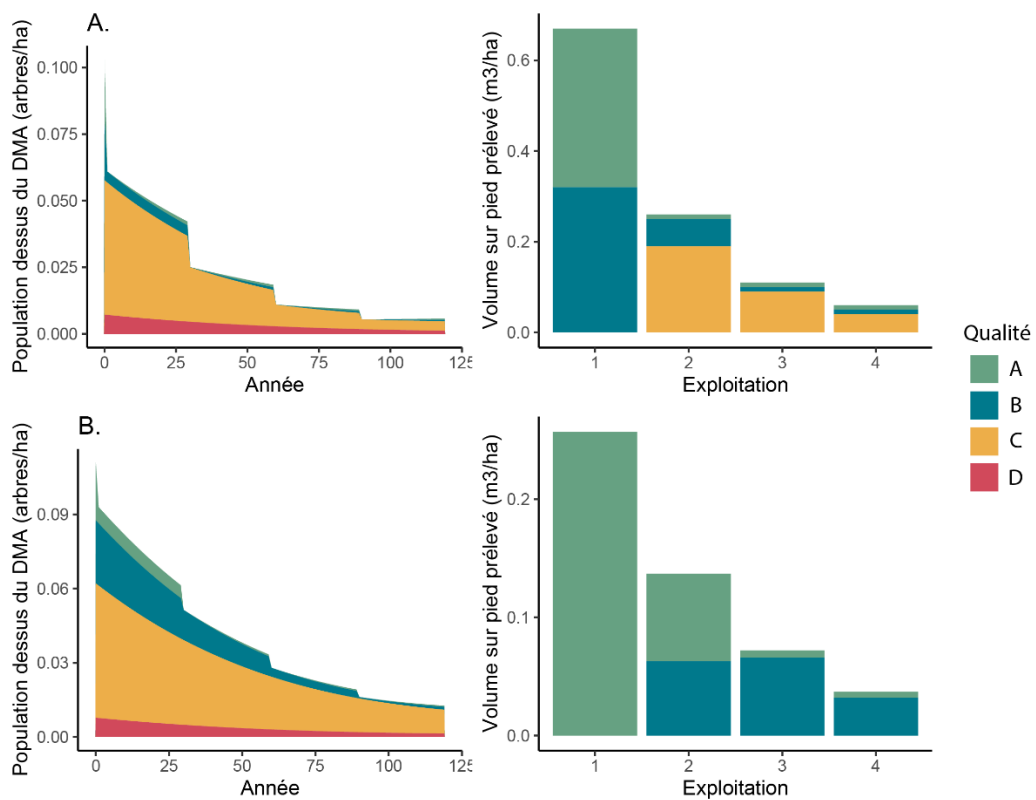


Figure 13: Evolution de la population au-dessus du DMA et des volumes prélevés à chaque rotation de l'Eyeck. A. Scénario actuel B. Scénario prudent

Résultat 2 : Des molécules présentes dans les produits connexes ligneux issus de la transformation sont identifiées et leurs usages déterminés

Activité 2.1 : Sélection des coproduits à valoriser

c) Descriptif de l'activité et méthode

Cette activité vise à identifier les types de coproduits valorisables pour l'extraction de molécules à haut potentiel dans les concessions forestières. Les coproduits ont été identifiés en collaboration avec les sociétés forestières et les acteurs scientifiques de Gembloux Agro-Bio Tech.

d) Résultats

Les coproduits potentiellement valorisables sont :

- La sciure ;
- Les dosses ;
- Les écorces ;
- Le bois de cœur;
- Les chutes d'ébouttage ;
- Les branches et feuilles.

Afin d'étudier le potentiel de valorisation de ces coproduits, il est nécessaire d'étudier la variabilité lors de l'extraction entre les compartiments suivants :

- L'aubier ;
- Le bois de cœur ;
- L'écorce ;
- Le duramen.

Activité 2.2 : Analyse de la composition chimique (database)

a) Descriptif de l'activité

Avant d'envisager la valorisation d'un quelconque produit, il convient d'identifier les molécules qui pourraient faire l'objet d'une utilisation industrielle. Cette identification a été faite sur base d'une revue bibliographique synthétisant les connaissances actuelles, d'enquêtes ethnobotaniques et d'analyses chimiques.

b) Synthèse des connaissances actuelles sur les Eyoum (*Dialium spp.*)

Une synthèse bibliographique a été publiée dans la revue *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement* (BASE). Cette synthèse est disponible à l'**Annexe A** ou en consultant le lien suivant : <https://hdl.handle.net/2268/262530>. Cette synthèse a notamment permis d'estimer le nombre d'espèce présentes dans la région guinéo-congolaise et de fournir une clef d'identification permettant de les différencier. Elle aborde également l'aire de répartition des espèces, leur écologie et plusieurs aspects importants pour l'aménagement forestier. Elle dresse également une liste des propriétés connues de leur bois et leurs usages. Finalement, elle résume l'ensemble des propriétés pharmacologiques connues des différentes espèces ainsi que les molécules déjà identifiées.

c) Enquête ethnobotanique sur les Omvong

Une enquête ethnobotanique sur les Omvong a été menée dans cinq provinces du Gabon. Elle renseigne l'usage traditionnel (principalement thérapeutique) fait par plusieurs populations en zones urbaines et rurales. Parmi les usages retrouvés sur les Omvong, la médecine traditionnelle occupe une place prépondérante (72%) par rapport à l'usage comme bois énergie (22%) ou d'autres usages (6%). En effet, il a été rapporté, selon nos résultats, que les organes d'Omvong contribuaient au traitement de plusieurs pathologies ou affections (Figure 1). C'est au total, treize affections ou pathologies qui ont été relevées comme causes d'usage ethnopharmacologiques des organes d'Omvong, avec un taux de citation plus élevé pour les affections dermatologiques (20%) et contre le paludisme (16%).

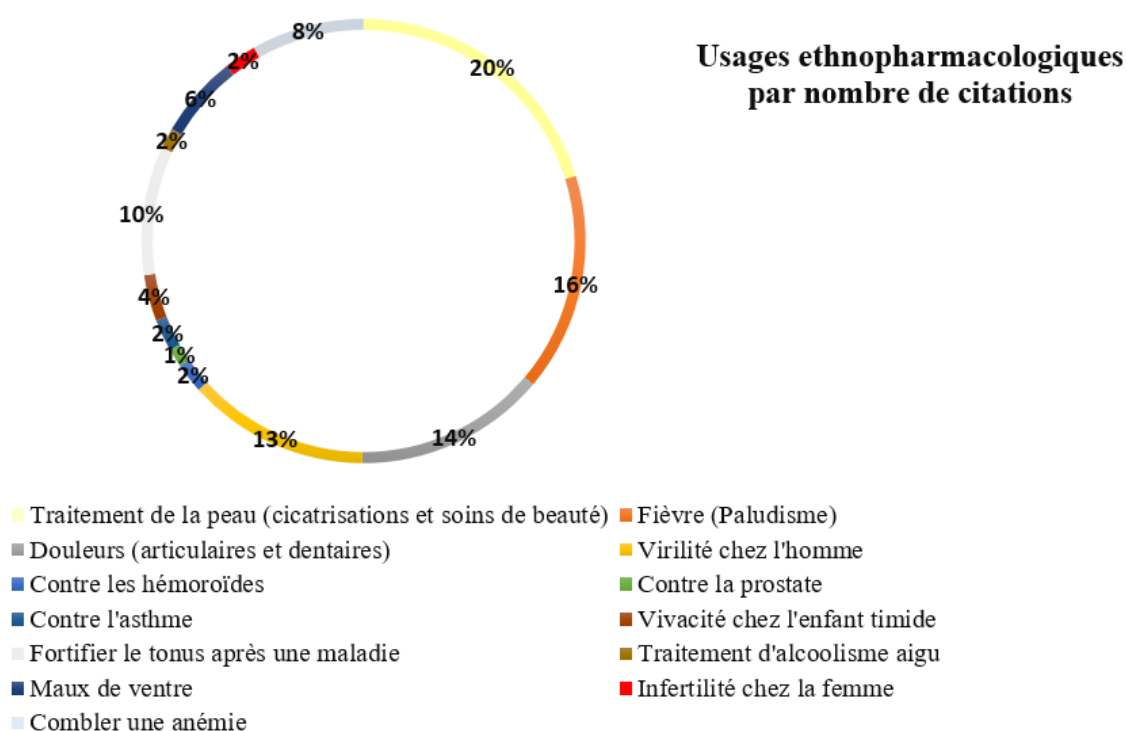


Figure 14 : Importance des usages ethnopharmacologiques des Omvong reportées par les personnes interrogées.

Cependant, la présente étude ayant été effectuée sans réelle distinction des différentes espèces d'Omvong (*Dialium polyanthum*, *Dialium bambidiense*, *Dialium pachyphyllum* et *Dialium lopense*) l'attribution des usages n'est donc pas spécifique à une espèce ou à une autre. Les fréquences d'utilisation de certaines espèces par rapport à d'autres et leur répartition dans la canopée forestière au Gabon (ou plus largement dans le bassin du Congo) sont des facteurs pouvant influencer la classification UICN de ces Omvong. De ce fait, une enquête plus spécifique focalisée sur les différentes espèces d'Omvong mériterait d'être menée dans la région du bassin du Congo afin de vérifier l'indice de vulnérabilité de chacune d'elles et d'en déduire une nouvelle classification.

d) Screening phytochimique

Le screening phytochimique permet d'estimer l'importance de grandes classes de molécules dans les matières végétales. Il a été effectué à partir de trois méthodes: (i) la Chromatographie sur Couche Mince (CCM) pour les polyphénols, flavonoïdes et alcaloïdes, (ii) l'analyse par *Fourrier Transformed Infrared* (FTIR) pour les flavonoïdes et alcaloïdes et (iii) des tests colorimétriques spécifiques aux tanins et aux terpènes. Ces tests ont été réalisés sur les Omvongs (*D. polyanthum*, *D. bambidiense*, *D.*

lopense), l'Eveuss, le Mubala et l'EyeK. Pour ces espèces, les écorces, parfois le duramen et l'aubier ont été étudiés. Les résultats sont présentés au **Tableau 3**. Les polyphénols, reconnus pour leur activité antioxydante ou antifongique notamment, ont été retrouvés dans toutes les essences étudiées. Les flavonoides, molécules reconnues pour leur activité antioxydante ou anti-inflammatoire, n'ont été observées que dans les écorces de *D. bambidiense* et *D. lopense* et dans le duramen de *D. bambidiense*. Les alcaloïdes sont des molécules aux actions toxiques ou thérapeutiques (caféine, morphine,...). Elles ont été observées dans les mêmes espèces que la flavonoides mais également dans les écorces du Mubala et de l'EyeK. Les tanins, molécules permettant de précipiter les protéines (utile au tannage du cuir), ont été observés dans les Omvong et l'Eveuss. Les terpénoïdes, composants majoritaires des huiles essentielles, ont été retrouvés dans toutes les essences avec une importance moindre dans *D. bambidiense* et dans les écorces de l'EyeK.

Tableau 3 : Evaluation de la présence de 5 classes de molécules au sein de l'écorce (E), du duramen (D) et de l'aubier (A) des 6 espèces étudiées. Signification: / = non testé, - = absence, + = présence sous forme de trace, ++ = forte présence, +++ = abondance.

Groupe chimique	<i>D. polyanthum</i>			<i>D. bambidiense</i>			<i>D. lopense</i>			Eveuss			Mubala	EyeK
	E	D	A	E	D	A	E	D	A	E	D	A	E	E
Polyphénols	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	+++	++	++	++
Flavonoides	-	-	-	++	+	-	-	++	-	-	-	-	/	/
Alcaloïdes	-	-	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+++	++
Tanins	++	+	+	++	-	+	+++	+	++	+++	+++	++	/	/
Terpénoïdes	++	+++	+++	+	+	+	+++	+++	+	+++	++	++	++	+

e) Caractérisation des molécules

Les molécules présentes dans le bois et les écorces des Omvong et de l'Eveuss ont été caractérisées selon 2 méthodes dont les spécifications techniques sont disponibles à l'**Annexe F** :

- Caractérisation par *Liquid Chromatography – Mass Spectroscopy* (LC-MS²) et réseau moléculaire : dans cette méthode les molécules présentes dans les extraits sont d'abord séparées à l'aide d'une chromatographie en phase liquide. Ensuite, chaque molécule détectée est ionisée dans un spectromètre de masse pour donner différents fragments caractéristiques de la molécule. Ces fragments ont ensuite été analysés et comparés à ceux de milliers d'autres molécules présente dans une base de données en ligne : le Global Natural Product Social, Molecular Networking (GNPS). Cette comparaison a été réalisée par la méthode du réseau moléculaire ;
- Caractérisation par *Gas Chromatography – Mass Spectroscopy* (GC-MS²) : la chromatographie gazeuse couplée à un spectromètre de masse (GC-MS) a le même fonctionnement qu'une LC-MS décrit précédemment mais les composés ne sont plus séparés dans un liquide mais dans un gaz (l'hélium). La méthode convient donc mieux pour les composés volatiles (donc ayant une masse moléculaire moins élevée). Dans le cadre de notre étude, les bois africains étant réputés contenir des composés lourds, les extraits ont été dérivatisés (technique de conversion de composés organiques permettant leur stabilisation pour une meilleure détection par le spectromètre).

Ces deux méthodes ont permis de fournir une base de données reprenant l'ensemble des molécules identifiées dans ces deux essences. Ces molécules sont toutes reprises dans l'**Annexe G**.

Activités 2.3 et 2.4 : Extraction, caractérisation des molécules et étude de leur propriétés (fonctionnalisation)

a) Descriptif de l'activité

Les molécules potentiellement valorisables doivent être extraites des coproduits. Dans cette optique, différents solvants doivent être testés et les rendements d'extraction comparés. Une fois les extraits obtenus, il convient d'identifier leurs activités biologiques (antioxydante, antiplasmodiale,...).

b) Méthodes extractives des polyphénols et propriétés antioxydantes et antimicrobiennes des extraits d'Omvong.

L'impact des ultrasons et des micro-ondes pour l'extraction de ces polyphénols a été comparée à une méthode plus conventionnelle (l'extraction solide liquide). Les polyphénols totaux et les tanins condensés présents dans les extraits ont été déterminés respectivement par les méthodes de Folin-Ciocalteu (FCT) et de vanilline (CTC), et la caractérisation des polyphénols spécifiques a été réalisée à l'aide de la méthode de chromatographie liquide haute performance (HPLC-UV/Vis) basée sur des molécules standards. L'activité antioxydante a été mesurée en se basant sur la capacité des extraits à piéger les radicaux libres (DPPH) et à réduire l'oxyde ferrique (FRAP). L'activité antimicrobienne a été évaluée sur 12 souches microbiennes (10 bactéries et 2 levures). La corrélation entre la composition phénolique et les activités antioxydantes et antimicrobiennes a été évaluée à l'aide des modèles statistiques prédictifs de Kendall (Tau-b) et PLS. Le détail des méthodes et résultats sont tous repris dans une publication en cours de révision. Elle devrait être publiée prochainement dans la revue *Antioxydant*.

Les ultrasons et les micro-ondes ont montré des effets significatifs sur l'extraction des polyphénols (**Figure 15**). Ces méthodes, qui sont déjà utilisées industriellement en Europe (usine d'extraction d'Avignon), pourraient être employées au sein des usines de transformation des concessions forestières en Afrique.

Sur les 29 standards qui ont été testés, cinq composés phénoliques ont pu être caractérisés : Acide syringique; Catéchine; Acide salicylique; Epicatéchine et Acide benzoïque.

Bien que certains de ces polyphénols aient déjà été caractérisés dans des tissus végétaux de certains Eyoum (*Dialium guineense* et *Dialium dinklagei*), notamment dans la catéchine et l'épicatéchine, respectivement dans les feuilles et les écorces, aucune étude montrant la présence de ces cinq composés dans les tissus végétaux des essences étudiées n'a à ce jour été publiée. Par ailleurs, une corrélation positive entre le taux de tanins condensés et les activités antioxydantes (DPPH et FRAP) a été observée. Cette corrélation est plus élevée que celle entre le TPC et les activités antioxydantes (**Figure 16**). Une corrélation positive a également été observée entre le taux de polyphénol l'activité anti-microbienne de l'extrait. Plus particulièrement, les corrélations entre le taux de polyphénols et le diamètre d'inhibition induit par l'extrait sur les micro-organismes *Candida albicans*, *Enterococcus faecalis* et *Staphylococcus aureus* étaient respectivement de 0,50, 0,44, et 0,59.

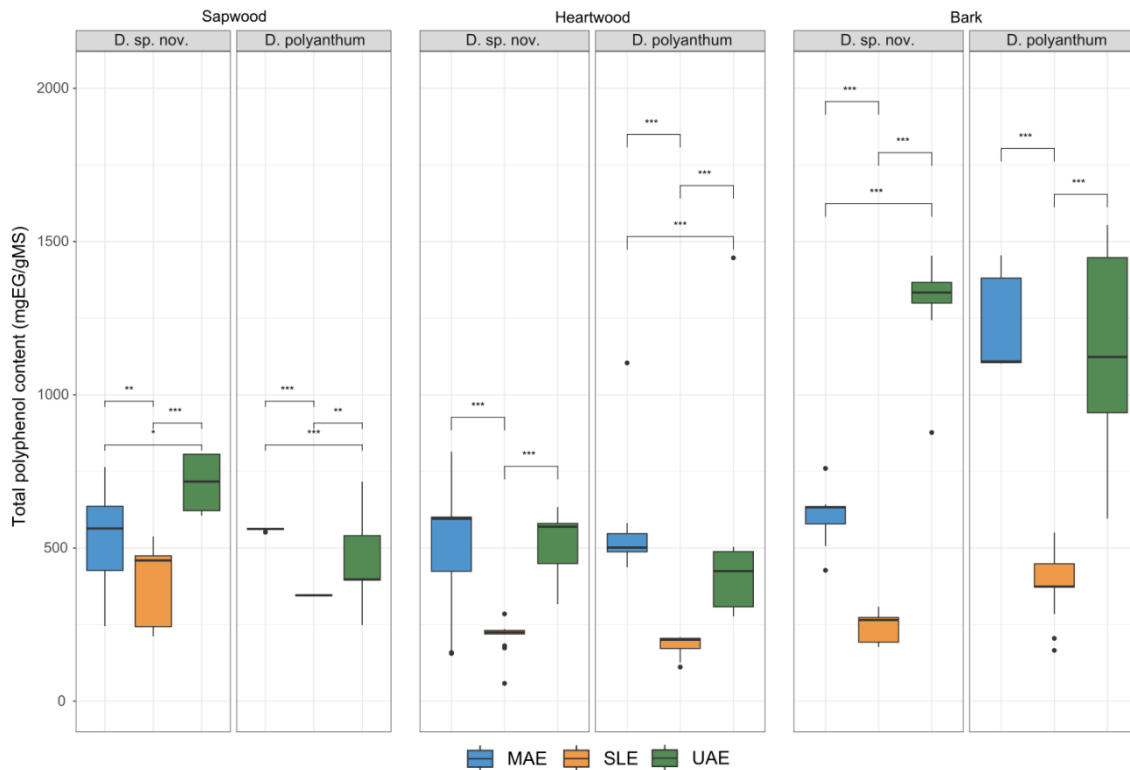


Figure 15 : Variation du contenu polyphénolique total (exprimé en mg d'équivalent acide gallique par g de matière sèche) en fonction de la méthode d'extraction pour chaque tissu végétal et pour chaque espèce. Les comparaisons par paire selon le test de structuration Emmeans sont présentées. *, **, *** correspondent respectivement à $0,05 < p < 0,01$, $0,01 < p < 0,001$, $p < 0,001$. MAE = Extraction assistée par microondes, SLE = Macération, UAE = Extraction assistée aux ultrasons

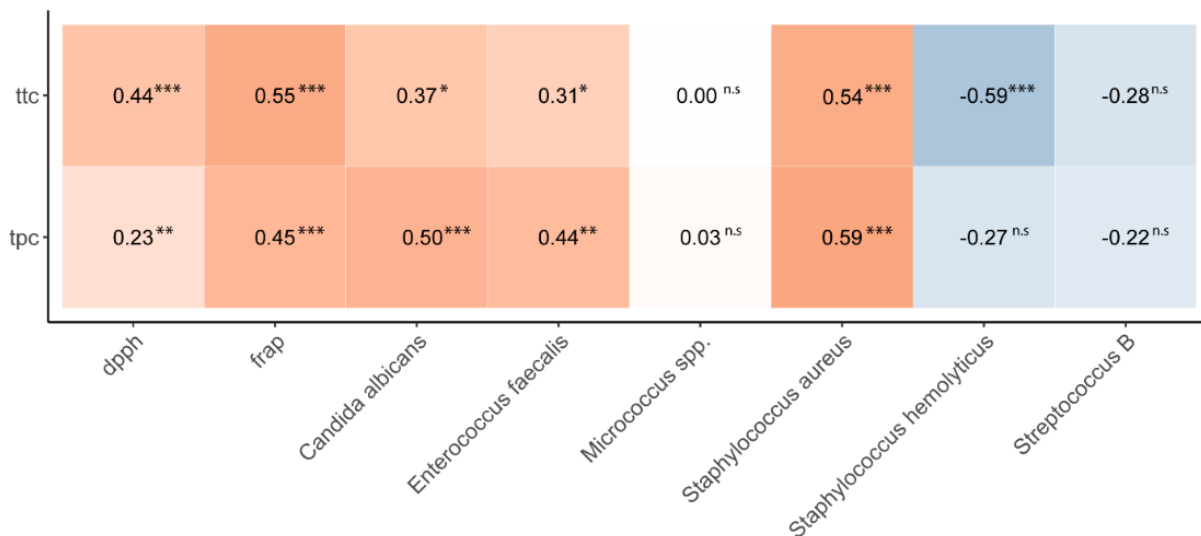


Figure 16 : Valeur des corrélations de Kendall entre les polyphénols (TPC), les tannins (TTC) et les activités biologiques : antioxydantes (DPPH, FRAP) et antimicrobiennes

Bien que cette étude ait, à l'aide de deux modèles statistiques, mis en évidence une relation entre l'acide syringique, des catéchines et de l'acide benzoïque dans les propriétés anti-radicalaires des extraits de *Dialium*, elle a cependant présenté quelques limites. En effet, la caractérisation des composés ayant été faite par HPLC-UV/Vis, bien que cette méthode soit de haute performance, elle tient compte uniquement des spectres d'éluion spécifique de chaque composé mais pas de l'identification des masses de chaque molécule. L'usage des méthodes analytiques telles que l'UPLC-

MS/MS (Ultra-High Performance Liquid Chromatography) et de la RMN (Résonance Magnétique Nucléaire) d'identifier de nouvelles molécules encore jamais caractérisées.

c) Dosage des polyphénols, des tanins condensés et capacité de précipitation des protéines des extraits d'Eveuss

Les extraits du bois d'Eveuss ont été obtenus par macération avec agitation magnétique, dans de l'éthanol (70/30, vol/vol), à 50°C, durant 2h. Ils ont été réalisés sur 4 individus, à deux hauteurs de prélèvement (base du fût et proche des branches) et sur trois compartiments : l'aubier, le bois de transition et le bois de cœur. Pour chaque macération obtenue, les trois tests suivants ont été réalisés :

- Le dosage des polyphénols totaux (DPT), basé sur le principe d'oxydation des cycles phénoliques des molécules en présence dans la solution par le réactif de Folin-Ciocalteu. Il permet d'estimer la teneur en polyphénols de l'extrait. Les polyphénols sont des molécules pouvant montrer de nombreuses activités biochimiques, notamment antioxydantes, contre le cancer et les maladies cardiovasculaires ;
- Le dosage des tanins condensés (DTC) se base sur le principe de réaction des groupements flavonoïdes terminaux de ces molécules avec la vanilline formant alors des anthicyanidols de couleur rouge. Les tanins condensés sont une sous-classe des polyphénols et peuvent donc présenter les mêmes activités. Ils sont cependant majoritairement utilisés pour leur astringence/amertume, notamment dans certaines boissons alcoolisées (vin, whisky,...) ;
- La capacité de précipitation des composés phénoliques a été définie comme étant la quantité totale de phénols capables de faire précipiter l'Albumine de Sérum Bovin (BSA). Les macérations ont été mises en présence de BSA durant 24h à 4°C. Les solutions ont ensuite été centrifugées pour récupérer le complexe phénols-BSA. Le culot a ensuite été resolubilisé pour doser la quantité totale de polyphénols ayant réagi avec la BSA. Ce test permet notamment de mettre en évidence la capacité des extraits à être utilisés pour le tannage de peaux et donc en maroquinerie.

Il ressort de cette étude que la hauteur de prélèvement n'a pas d'influence significative sur les rendements de la macération ou des différents dosages testés. Les rendements d'extraction de l'aubier et du bois de transition sont cependant significativement supérieurs à ceux obtenus dans le bois de cœur. La teneur en polyphénols suit un gradient radial avec une augmentation depuis le bois de cœur, jusqu'à l'aubier (**Figure 18**). En comparaison d'autres espèces mentionnées dans la littérature, les trois types de bois d'Eveuss montrent de hautes teneurs en polyphénols. Le même gradient radial est observé pour la capacité de précipitation des protéines. A l'inverse, la teneur en tanins condensés diminue significativement depuis le bois de cœur vers l'aubier, mais toutes les valeurs restent faibles par rapport à d'autres bois tropicaux.



Figure 17: Macérations d'aubier, de bois de transition et de bois de cœur d'Eveuss

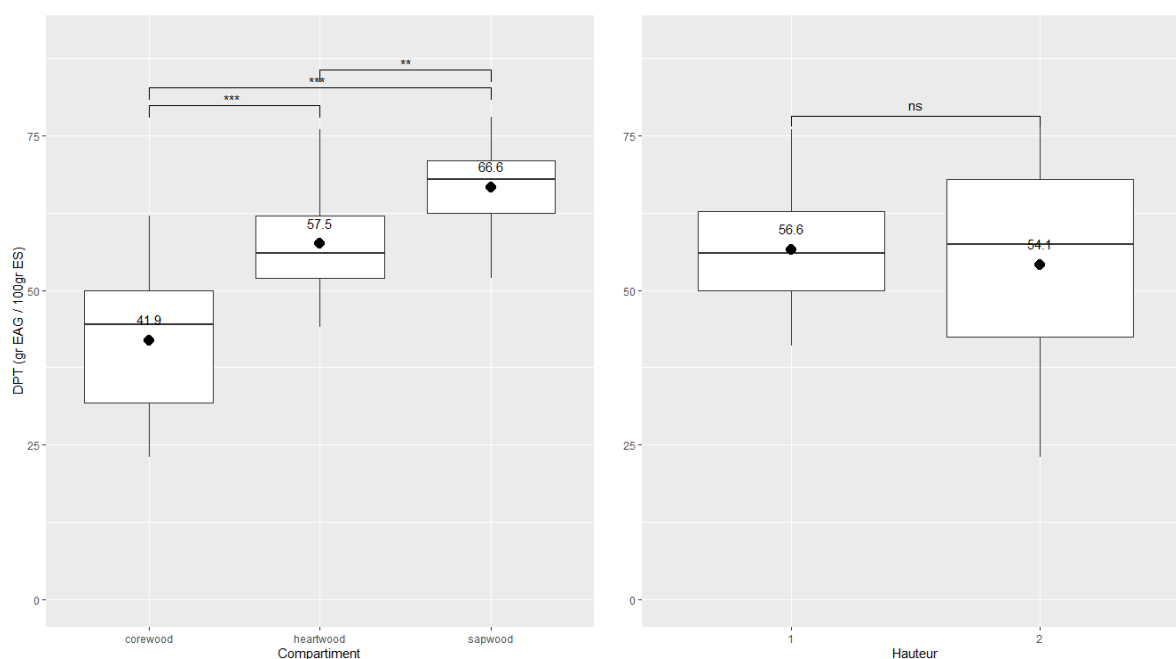


Figure 18: Dosage des polyphénols totaux de l'Eveuss en fonction du compartiment (*corewood* = bois de cœur, *heartwood* = bois de transition et *sapwood* = aubier) et de la hauteur de prélèvement (1= base du fût, 2=hauteur de la première branche). Moyenne comparée au moyen du test de Tukey, ns, *, **, *** correspondent respectivement à non significatif, $0,05 < p < 0,01$, $0,01 < p < 0,001$ et $p < 0,001$.

d) Activité antiplasmodiale des extraits d'Omvong et d'Eveuss

Cette activité avait pour objectif d'évaluer l'activité antiplasmodiale des parties de bois (duramen, aubier) et de l'écorce des Omvong et de l'Eveuss. Le test antiplasmodial est un test consistant à effectuer des essais d'une substance, dans notre cas des extraits éthanol-eau (70/30, v/v) lyophilisés, dont on soupçonne des activités antiparasitaires sur des souches spécifiques de *Plasmodium falciparum* (parasite causant le paludisme chez l'être humain). Pour cela, le test s'effectue dans un milieu reconstitué tel qu'il se trouve dans des conditions internes de l'organisme, particulièrement de plasma sanguin (idéalement les groupes +O ou +A) pour la culture des cellules parasitaires.

L'activité d'une substance est mesurée comme étant le niveau de concentration inhibitrice IC₅₀, soit la concentration minimale en extrait (exprimé en mg d'extrait sec/ml) de l'essence cible permettant de nécroser 50% des cellules de *P. falciparum*.

Cette activité est considérée comme :

- **Prometteuse** si : 5mg/ml < IC₅₀ < 15mg/ml
- **Très bonne** si : 1mg/ml < IC₅₀ < 5mg/ml
- **Puissant** si : IC₅₀ < 1 mg/ml

Les résultats sont présentés dans le **Tableau 4**.

Tableau 4 : Résultat du test antiplasmodial pour les différents compartiments des espèces ciblées

Espèce	Compartiment	IC50 (mg/ml)	Répliques
<i>Dialium polyanthum</i>	Ecorce	0,90 ± 0,114	3
	Aubier	4,57 ± 0,59	3
	Duramen	16,6 ± 2,59	5
<i>Dialium lopense</i>	Ecorce	7,97 ± 1,11	3
	Aubier	4,92 ± 2,49	3
	Duramen	1,14 ± 0,44	3
<i>Dialium bambidiense</i>	Ecorce	3,98 ± 3,14	6
	Duramen	2,00 ± 1,10	3
Eveuss (<i>Klainedoxa gabonensis</i>)	Ecorce	2,70 ± 0,67	3
	Aubier	1,03 ± 0,75	3
	Duramen	2,61 ± 0,09	3

Selon l'essai, les écorces de *Dialium polyanthum* présente une puissante activité antiplasmodiale avec une IC₅₀ de 0,90 +/- 0,114. La majorité des autres espèces et compartiments testés présentent une très bonne activité contre *P. falciparum*, à l'exception du duramen de *Dialium polyanthum* dont l'IC₅₀ > 15 mg/ml.

e) Production de molécules plateformes : 5-hydroxyméthylfurfural (5-HMF) et de 2-furfural (2-F) à partir d'Omvong et d'Eveuss

Les molécules plateformes sont des composés à fort potentiel pour l'industrie chimique car elles permettent de remplacer des produits d'origine fossile par des produits biosourcés dans de nombreux domaines d'application : colles et résines, polymères plastiques, solvants et acides, amines et amides, carburants et additifs pour carburants, pharmacie, alimentation humaine et animale. Dans ces différents domaines, l'utilisation de cette molécule non-toxique, produite à base de fructose d'origine végétale, pourrait réduire sensiblement l'impact sur l'environnement et la santé. C'est pourquoi la production de cette molécule à partir du bois d'Omvong (*Dialium polyanthum* et *Dialium lopense*) et d'Eveuss a été évaluée par des étudiants de 1^{ère} Master de Gembloux Agro-Bio Tech. Un de leur rapport, décrivant l'ensemble des méthodes utilisées et des résultats, est disponible à l'**Annexe H**.

Sur l'ensemble des espèces/molécules testées, le bois de transition de l'Eveuss a permis d'obtenir la concentration moyenne la plus haute de 2-F selon la méthode utilisée. Le bois de transition étant généralement un coproduit important de l'industrie, sa valorisation pour la production de molécules plateforme peut s'avérer très intéressante.

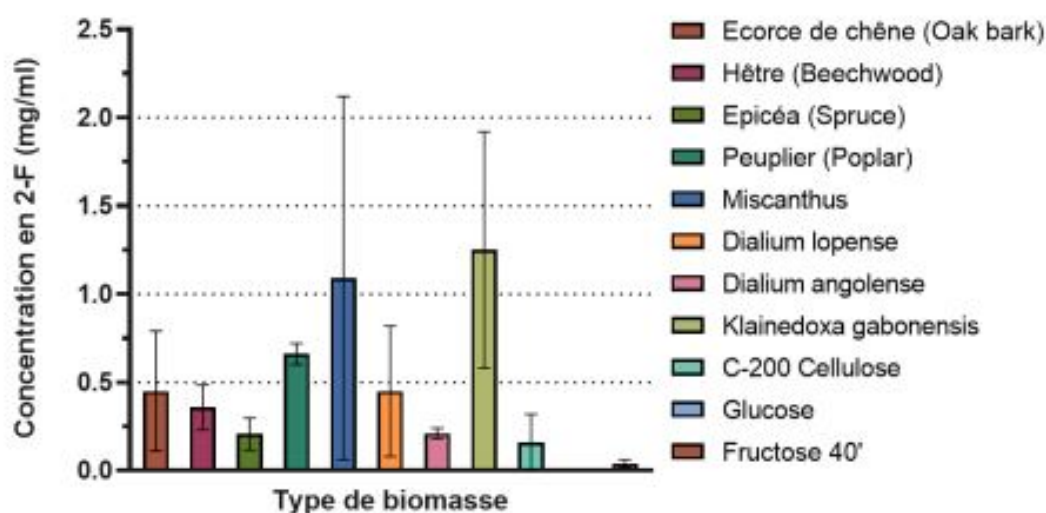


Figure 19 : Résultats de la production du 2-F à partir de différentes matières végétales. *Dialium angolense* = *Dialium polyanthum*

Résultat 3 : Les propriétés physiques, technologiques et de durabilité naturelle du bois des essences considérées sont identifiées

Activités 3.1 à 3.3 : Découpe et transport de plateaux, étude des propriétés physico-mécaniques et de durabilité naturelle

a) Descriptif de l'activité et méthodes

Afin d'évaluer les potentialités de valorisation du bois des essences peu connues, les propriétés physico-mécaniques et de durabilité naturelle doivent être étudiées. Pour se faire, 10 Omvong (5 *Dialium polyanthum*, 4 *Dialium bambidiense* et 1 *Dialium lopense*), 4 Eveuss et 4 Ossoko ont été collectés à PW-CEB. A Pallisco, ce sont 4 individus d'Eyek et 4 individus de Mubala qui ont été prélevés. Ces arbres ont ensuite été découpés en plateaux, chevrons ou planches (**Figure 20**) pour leur transport jusqu'au Laboratoire de Technologie du Bois (LTB, CRA-w, Belgique).



Figure 20 : Découpe d'un billon d'Eveuss pour la production de planches et de chevrons exportables vers le Laboratoire de Technologie du Bois en Belgique.

Les bois exportés ont ensuite été transformés en échantillons standardisés par le LTB pour répondre aux exigences des normes d'essais. Ces échantillons ont ensuite servi à la caractérisation des 7 espèces étudiées, au travers de 5 propriétés visuelles macroscopiques, 7 propriétés physiques, 5 propriétés mécaniques, et 3 tests de durabilité naturelle faces aux champignons de bois sec. Au total, sur la durée du projet, plus de 6300 tests ont été réalisés.

Une fois les propriétés physico-mécaniques et de durabilité naturelle connues, elles ont été comparées à celle de 96 autres espèces africaines, reprises dans la base de données TROPIX. Cette comparaison a été réalisée au moyen de la méthode statistique non supervisée, la *Hierarchical Clustering on Principal Component* (HCPC), qui a pour but de classer les bois en fonction de leur ressemblance. Les espèces du projet ont alors pu être mises en relation avec les espèces phares du marché du bois actuel.

b) Résultats

L'ensemble des résultats ainsi que les détails techniques concernant la caractérisation des propriétés du bois sont consignés dans le Chapitre 4 de la thèse de Doctorat de Robin Doucet. Ce document est disponible à l'**Annexe D** ou en ligne via le lien suivant : <https://hdl.handle.net/2268/315947>. Un article focalisé plus particulièrement sur l'Eyeck a également été publié dans le journal *European Journal of Wood and Wood Products*. Cet article est disponible à l'**Annexe I** ou en suivant le lien : <https://hdl.handle.net/2268/264388>. Finalement, les propriétés mécaniques de l'Ossoko et l'influence du thermotraitement sur cette essence ont été étudiées par Alexandre Bûche, dans le cadre de son travail de fin d'études. Celui-ci est disponible à l'**Annexe J** ou en consultant le lien suivant : <http://hdl.handle.net/2268.2/15614>. Dans le présent rapport, seuls les usages des 5 essences et leur potentiel de substitution sur le marché sont présentés.

Les Omvong (*Dialium lopense*, *Dialium polyanthum* et *Dialium bambidiense*), le Mubala et l'Eveuss se retrouvent dans le groupe des espèces à « haute densité du bois et retraits élevés ». Les essences de bois dense étant en progression sur le marché du bois depuis quelques années (Eba'a Atyi et al. 2022), leur potentiel de valorisation peut s'avérer intéressant.

Dans la classification, le bois de *Dialium lopense* est plus proche de celui de l'Eveuss que des autres Omvong. Ils sont tous deux proches d'espèces emblématiques de l'exploitation sélective en termes de volume ou de reconnaissance internationale (Doucet and Kouadio 2007; FRM 2018). Ces essences, en fonction de l'esthétique du bois (Martin and Vernay 2016) conviennent pour les instruments, l'ébénisterie de luxe ou pour de l'ouvrage extérieur. Le grain fin et l'aspect esthétique de l'alternance de bande de parenchyme de *D. lopense* pourraient le préconiser pour des utilisations parmi les plus nobles (Figure 21), au même titre que les bois de Moabi, de Bubinga, ou de Wengé. Sa forte résistance aux chocs pourrait également être un avantage pour la réalisation d'instruments de percussion ou de manches à outils. Cependant, la conformation des grumes peut limiter la longueur des pièces. Si sa teneur en silice s'avère aussi élevée que celles des deux autres espèces d'Omvong étudiées, elle pourrait également limiter sa transformation. L'Eveuss sera plutôt destiné au gros œuvre comme le Tali, l'Okan ou le Mukulungu. Néanmoins, le bois de transition, parfois large et de couleur plus claire que le duramen, n'atteint que la classe d'emplois 3.1 alors que le duramen peut être utilisé en classe d'emplois 4. Il faudra donc purger le bois de transition lors de la transformation pour la plupart des usages extérieurs. Ne présentant pas de difficultés de sciage ou de transformation particulières, il peut également servir à l'aménagement intérieur en petites sections (Figure 22).

Les autres espèces d'Omvong et le Mubala se distinguent par une anisotropie plus élevée (potentiel de déformation plus élevé) et un point de saturation de fibre un peu plus faible. Les sciages sur dosse de ces dernières auront donc potentiellement plus tendance à se déformer avec les variations d'hygrométrie que *Dialium lopense* et l'Eveuss. La durabilité naturelle plus faible de *D. bambidiense*, ne permettant que des usages extérieurs limités, la rapproche d'essences comme l'Ovengkol, du Mutenye, de l'Awoura ou du Lotofa. Ces espèces sont principalement valorisées avec une transformation poussée tel que l'ébénisterie de luxe, le tournage, la fabrication d'instruments de musique ou le placage tranché (Gérard et al. 2017). Même si elle est envisageable (**Figure 23**) la teneur extrême en silice de *D. bambidiense* rend sa transformation très difficile. Avec ses hautes résistances mécaniques (notamment aux chocs), les emplois minimisant la transformation tels que les fonds de véhicules, les planchers industriels ou encore la charpente lourde devraient être favorisés.



Figure 21 : Mise en œuvre de *Dialium lopense* pour la réalisation de tables et d'un bar de brasserie (Gembloux, Belgique).



Figure 22: Parement de tablette en Eveuss dans une maison Bruxelloise (Belgique).



Figure 23: Plat tourné en loupe de *Dialium bambidiense* (Hermoye, Belgique).

Pour *D. polyanthum* et le Mubala, les utilisations extérieures nécessitant une bonne stabilité telles que les lames de terrasse (**Figure 24**), le bardage extérieur, nécessiteront une mise en œuvre appropriée (**Figure 25**). Il faudra dès lors favoriser les sciages sur quartier pour ce type d'utilisation et conceptualiser les ouvrages pour permettre le mouvement des bois. Ces deux espèces pourront majoritairement être utilisées pour les ouvrages lourds en extérieur, en contact ou non avec l'eau. Avec sa haute résistance au choc, sa teneur en silice limitant le degré de transformation et une bonne conformation de grumes, *D. polyanthum* pourrait plus particulièrement convenir à la fabrication de traverse (ATIBT, 2022b).

Les traverses en bois étant souvent destinées aux zones d'aiguillage, elles demandent des pièces de grandes dimensions jusque 15*35*680 cm (ATIBT, 2022b). Les dimensions et la conformation des grumes du Mubala limitent la taille des pièces pouvant être produites et donc son utilisation en traverse. Le sciage et la transformation n'étant pas contraignants (cfr. Résultat 4), cette espèce sera préférée pour des pièces moyennes pouvant être usinées. Son point de saturation de la fibre très bas induit un coefficient de retrait volumique élevé et donc une variation de volume importante avec les variations d'hygrométrie. Cependant, pour une utilisation en classe d'emplois 4, soit en contact permanent avec l'eau (humidité > 20%), l'humidité du bois serait toujours supérieure au point de saturation de la fibre, empêchant le bois d'exprimer son retrait. De plus, les pièces pour travaux hydrauliques sont généralement usinées à l'état vert pour faciliter la coupe (ATIBT, 2022a). Plus le PSF est bas, plus le séchage sera long avant qu'il n'induisse des modifications de propriétés mécaniques. En ce sens, le Mubala offre donc plus de flexibilité que les essences traditionnelles sur le temps de transport entre les unités de sciage et d'usage.



Figure 24: Lames de platelage en *Pentaclethra macrophylla* produits par Pallisco-CIFM (Mindourou, Cameroun).



Figure 25 : Table extérieur en *Dialium polyanthum* selon une mise en œuvre appropriée. Seules des pièces sur quartier/faux quartier ont été utilisées. Les traverses intérieures sont espacées et uniquement vissées dans la rainure du montant pour laisser le retrait radial s'exprimer (Namur, Belgique).

Le bois de l'Éyek est classé dans un groupe de densité moyenne à élevée avec une anisotropie forte, due au retrait tangentiel élevé. Son bois est très similaire à celui du Dabéma, de l'Ebiara et du Kanda. Ces espèces sont parfois utilisées pour de la charpente ou des utilisations en mouvement (Gérard,

Guibal, Paradis, & Cerre, 2017). Cependant, l'EyeK possède un bois plus lourd, un rapport résistance/masse plus faible et une résistance aux chocs très basse. Dès lors, la charpente, les utilisations en structure, les planchers industriels, les boîtes/emballages, les emplois mobiles ou les fond de véhicules devraient être évités. Les autres utilisations de ces espèces sont principalement catégorisées en menuiserie, ébénisterie et aménagement intérieur ou extérieur. Le fil ondé observé sur les 4 arbres, esthétique sur de larges planches (**Figure 26**), le rend potentiellement plus intéressant pour le mobilier ou l'ébénisterie.



Figure 26: Utilisation de l'EyeK pour la création de meubles intérieurs. Plateaux et tiroirs en EyeK et piètements en chêne (Sart-Tilman, Belgique & Hermoye, Belgique).

L'Ossoko se classe dans un groupe de densité moyenne à faible et de faible dureté. Son bois est proche de ceux de l'Ekoune, des Andoungs, des Aningres et des Faros. Ces espèces sont actuellement peu valorisées. D'autres espèces, avec un point de saturation de la fibre un plus élevé, une anisotropie plus faible, mais une durabilité naturelle équivalente sont plus utilisées telles que l'Ozigo, l'Igaganga ou l'Avodiré. Ces espèces sont majoritairement valorisées pour la fabrication de panneaux contreplaqués (Gérard et al., 2017; Martin & Vernay, 2016). La section étoilée de l'Ossoko, du moins à la base du fût, empêche le déroulage d'une portion importante des grumes. A partir de sciage, ces espèces sont plutôt valorisées en menuiserie et aménagement intérieur. Le grain très fin et l'absence de contrefil de cette espèce permet un bon état de surface après rabotage, idéal pour la réalisation de moulure, lambris ou pour le tournage. Il faudra néanmoins vérifier son aptitude à la finition par vernis ou peinture. En effet, la présence d'une large proportion de bois de transition de couleur différente du duramen (**Figure 27**) peut amener certains utilisateurs à vouloir masquer ce défaut en teintant le bois.



Figure 27 : Plateau de table en Ossoko réalisé par la menuiserie de PW-CEB (Bambidie, Gabon).

L'ensemble des utilisations potentielles, proposées par ordre de pertinence, sont résumés au **Tableau 5**.

c) Perspectives

Les études scientifiques sur les bois tropicaux permettent d'élargir nos connaissances, mais leur application directe par les acteurs de l'industrie reste limitée. Toutes les propriétés étudiées durant ce projet (à l'exception du Point de Saturation de la Fibre) ont été évaluées selon des normes strictes et reconnues par l'Union Européenne. Les valeurs obtenues pourraient donc être transférées vers des outils tels que les fiches TROPIX (Gérard et al., 2011). Néanmoins, certaines propriétés supplémentaires, telles que la résistance aux termites, aux térébrants marins ou encore la stabilité dimensionnelle devrait être étudiées. Nous recommandons donc de compléter nos essais pour proposer des fiches exhaustives.

Une fois les acteurs informés sur les usages potentiels de ces bois, il faut qu'ils puissent les utiliser. Certaines applications nécessitent une garantie quant à la durabilité naturelle du bois (ouvrages extérieurs, châssis de fenêtre...). Nos tests de résistance aux champignons basidiomycètes répondent aux exigences de la norme technique CEN/TS 15083-1. Celles-ci étant reconnues par l'Union Européenne, nos résultats pourraient être utilisés pour d'amender la norme NF EN 350-2. Cette norme, faisant foi auprès des professionnels de la filière, définit la durabilité naturelle du bois et attribue, à chaque essence y étant inscrite, une classe de durabilité. Nos résultats seraient alors reconnus par les pays membres de l'UE. Pour l'utilisation du bois en structure, les propriétés calculées sur des échantillons de bois sans défauts ne sont parfois pas suffisantes. Le bois de structure étant destiné à assurer le support et la stabilité de bâtiments ou d'ouvrage d'art, il doit donc répondre à des exigences strictes en termes de résistance mécanique. Les valeurs théoriques obtenues sur du bois parfait ne sont que rarement observées sur des pièces de grande longueur comprenant des nœuds et des

variations de fil. C'est pourquoi, au sein de l'Union Européenne, le classement mécanique des bois (norme NF EN 338) requiert de mesurer les propriétés mécaniques selon la norme NF EN 14081, sur des pièces de grandes dimensions (50 x 150 x 3600 mm) (Collet, 2017). De tels échantillons ont été sciés pour *D. polyanthum* pour réaliser ces essais. Une collaboration avait été envisagée avec l'entreprise Wijma pour qu'ils mènent ces essais dans un laboratoire accrédité. Ils ne sont cependant jamais venus récupérer les échantillons, qui demeurent toujours au CRA-w. Le classement mécanique des bois est cependant nécessaire pour l'attribution du marquage CE, référence indispensable pour l'utilisation du bois dans les marchés publics européens. Ces marchés publics étant un des rares secteurs encore enclins à payer le surcoût de la certification durable (ATIBT & FFEM, n.d.; Eba'a Atyi, Hiol Hiol, & Lescuyer, 2022), nous recommandons vivement de mener ces essais pour les espèces étudiées.

Tableau 5: Tableau récapitulatif des utilisations potentielles des différentes espèces testées dans l'ordre de pertinence.

Espèce	Utilisation potentielles
<i>D. lopense</i>	Instrument de musique (percussion) ¹ , Articles tournés ¹ , Ébénisterie et mobilier ¹ , Agencement, Manches d'outils, Parquet, Bardage ¹ , Portes et fenêtres, Escalier (intérieur extérieur), Lame de terrasse, Platelage, Plancher industriel, Fond de véhicules
<i>K. gabonensis</i>	Parquet industriel, Charpente lourde extérieure ³ , Traverse et bois de calage ² , Platelage ² , Pont ² , Travaux hydrauliques ² , Piquets ² , Parquet, Agencement intérieur
<i>D. bambidiense</i>	Planchers industriels intérieurs, Fonds de véhicules, Charpente lourde intérieur et extérieure ³ , Manche d'outils, Parquet, Escalier intérieur, Menuiserie intérieure, Ébénisterie et mobilier
<i>D. polyanthum</i>	Traverse et bois de calage, Pont (en contact ou non avec l'eau), Travaux hydrauliques, Charpente lourde, Manche d'outils, Platelage, Lame de terrasse ⁴ , Menuiserie et agencements extérieurs ⁴ , Fond de véhicules, Plancher industriel, Parquet
<i>P. macrophylla</i>	Travaux hydrauliques, Pont (contact ou non avec l'eau), Charpente lourde, Piquets, Poteaux, Platelage ⁴ , Lame de terrasse ⁴ , Menuiserie et aménagement extérieurs ⁴ , Parquet
<i>P. tessmannii</i>	Ébénisterie et mobilier intérieurs et extérieurs ⁵ , Aménagement, Bardage, Volet, Tournage, Placage tranché, Parquet, Escalier intérieur
<i>S. mannii</i>	Moulure, Lambris, Tournage, Placage tranché, Agencement intérieur, Porte et huisserie, Meuble et Ébénisterie.

¹ Sous réserve d'une teneur en silice limitant les difficultés de transformation ; ² Uniquement après purge du bois de transition ; ³ Uniquement en zone peu exposée aux intempéries et avec une conception drainante ; ⁴ Sous réserve d'une mise en œuvre limitant les variations dimensionnelles du bois ; ⁵ Soumis à une humidité fréquente ou prolongée mais pas constante.

Résultat 4 : Les contraintes techniques et commerciales liées à la valorisation de nouvelles espèces sont identifiées et résolues

Activités 4.1 et 4.2: Identification des contraintes techniques dans les unités de transformation et mise en œuvre de solution techniques

a) Descriptif des activités

Ces activités visent à identifier, quantifier et proposer des solutions quant aux contraintes liées à la transformation des espèces étudiées, en forêt et en scierie.

b) Le Mubala

Le principal frein identifié à la valorisation du Mubala est la qualité des arbres en forêt. L'impact de cette qualité sur les volumes sur pieds et sur les rendements ont été traité dans le Chapitre 5 de la thèse de Doctorat de Robin Doucet (**Annexe D** ou en consultant le lien suivant : <https://hdl.handle.net/2268/315947>). L'influence de l'environnement (profondeur du sol, distance aux cours d'eau, pente,...) sur la qualité des arbres a également été étudiée par Patrice Ondoua Ondoua, dans le cadre de son travail de fin d'études. Ce travail est disponible à l'**Annexe K**.

Estimation des volumes

Afin d'évaluer correctement les volumes de cette essence, le volume de 90 arbres a été estimé par la méthode du relascope de Bitterlich. Pour chaque arbre, le diamètre à 1m30 (D en cm) et la hauteur du fût (h en m) ont également été mesurés et l'arbre a été catégorisé dans une des 4 classes de qualité définies lors de l'inventaire d'exploitation (**Tableau 6**). Ensuite, différentes relations statistiques ont été testées pour créer un tarif de cubage adapté à la morphologie du Mubala. A l'issue de nos calculs, une équation de cubage a pu être définie :

$$V = 0,190 - 0,121Dh + 0,748D^2h$$

Cette relation nécessite néanmoins de connaître la hauteur du fût, donnée qui n'est pas collectée durant les inventaires. Elle est cependant estimée lors de l'attribution des classes de qualité. C'est pourquoi nous proposons d'utiliser les hauteurs moyennes de chaque classe de qualité pour améliorer l'estimation des volumes en forêts. Dans le cas du Mubala à Pallisco, sur les 84 arbres (dhp > 40cm), la hauteur du fût de l'individu de qualité A était de 16m, la hauteur moyenne des 17 individus de la classe B de 14m, les 42 individus de la classe C de 9,4m et les 24 individus de la classe D était de 9,6m. Ces valeurs nous permettent de proposer 4 équations de cubage, chacune adaptée à la classe de qualité correspondante :

$$V_A = 0,190 - 1,936D + 11,968D^2$$

$$V_B = 0,190 - 1,694D + 10,472D^2$$

$$V_C = 0,190 - 1,137D + 7,031D^2$$

$$V_D = 0,190 - 1,162D + 7,181D^2$$

Dans le cas présent, l'intégration de la hauteur moyenne des classe de qualité permet de limiter l'erreur d'estimation, particulièrement pour les classes de qualité A et B (**Figure 28**). Pour un individu de 1 m de diamètre, une équation de cubage n'utilisant que le diamètre sous-estime de 36% le volume des arbres de qualité A et 27% les arbres de qualité B. Bien que ces nouveaux tarifs améliore l'estimation des volumes sur notre jeu de donnée, nous recommandons cependant de mesurer la hauteur d'avantage d'individus dans les classes de qualité A et B. Cela permettrait d'avoir une meilleure estimation de la hauteur moyenne de fût dans ces classes peu représentées.

Tableau 6 : Critères de classification de la qualité des arbres à Pallisco-CIFM pour *P. macrophylla*

Classe	Hauteur de fût exploitable	Défauts acceptables
A	Plus de 16 m	10 premiers mètres: Courbure < 1cm, nœuds sains, blessures cicatrisées. Au-delà de 10 m: Courbure, méplat, bosse, branche morte, gouttière peu accentuée.
B	12 m à 16 m	6 premiers mètres: courbure, méplat, bosse, branche morte, gouttière peu accentuée. Au-delà de 6 m: courbure 4 cm, nœuds sains ou pourris, blessures ouvertes, grains d'orge, trou, gros gourmand, 2 ou 3 branches vivantes.
C	6 m à 12 m	6 premiers mètres: courbure 4 cm, nœuds sains ou pourris, blessures ouvertes, grains d'orge, trou, gros gourmand, 2 ou 3 branches vivantes.
D	Non exploitable	Arbre de très mauvaise qualité (gros trous, cannelures profondes, fourches basses...).

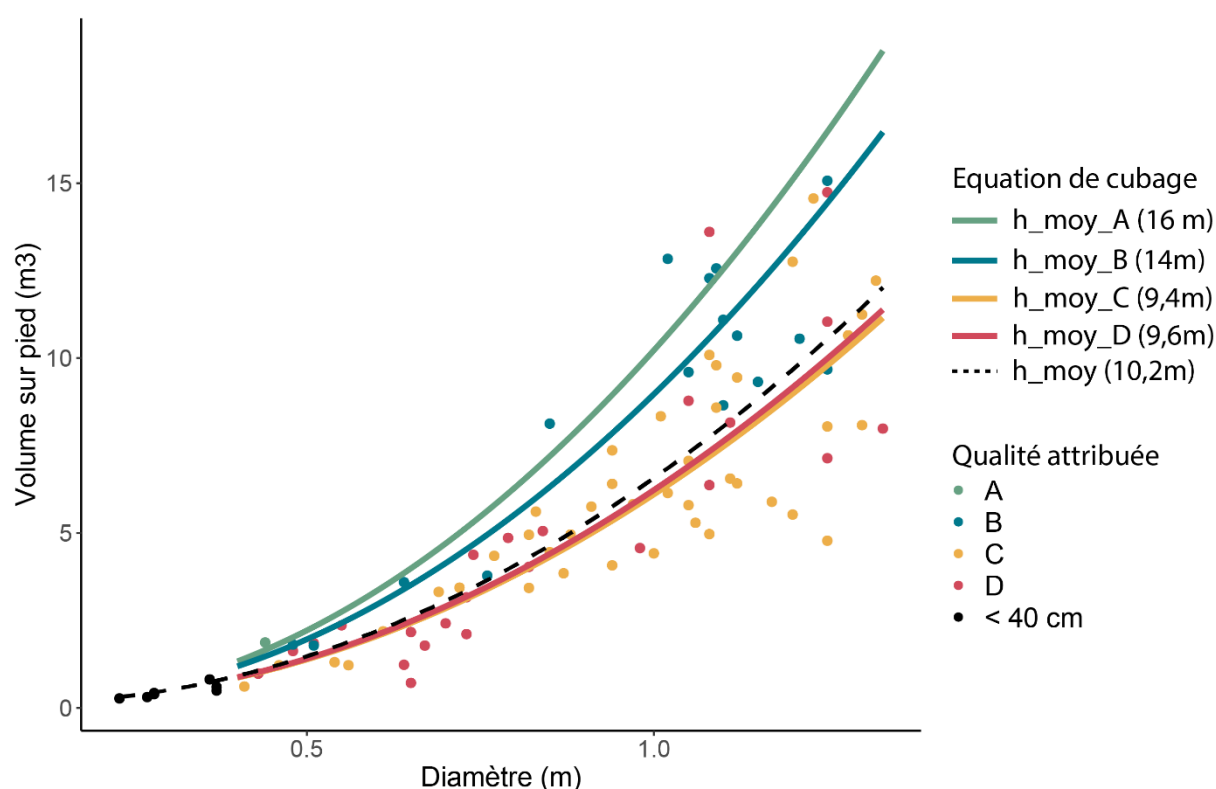


Figure 28: Représentation graphique de l'équation de cubage de *P. macrophylla* en fonction de la hauteur moyenne des fûts des arbres de chaque classe de qualité et de la hauteur moyenne de tous les arbres, indépendamment de la qualité (pointillé)

Rendements de transformation

Les rendements de transformation ont également été investigués sur 27 arbres. Pour chaque arbre, le coefficient de commercialisation (rapport entre le volume d'arbre commercialisable et le volume d'arbre abattu) et les rendements sciage ont été mesurés. L'essai de sciage a permis de réaliser deux types de produits : 3 arbres ont été utilisés pour produire des lames de platelage (section : 27 x 165 mm) et 24 arbres ont été utilisés pour produire des lambourdes (section : 45 x 70 mm). Dans les deux cas, du lambris a également été scié à partir des rebus pour améliorer le rendement. Pour finir, les lames de platelage ont été profilées par une raboteuse 4 faces pour arriver au produit final.

Une relation positive entre le coefficient de commercialisation et la hauteur des fûts a été observée (**Figure 29**). Dès lors, sélectionner des arbres plus grands permet d'améliorer le coefficient de commercialisation. Cette relation est certainement due à la présence d'un cœur creux à la base des arbres, de profondeur a priori constante, observé dans la plupart des grumes. Le rendement de sciage

a été réalisé sur des arbres de qualité B. Pour les deux types de produit le rendement est faible par rapport à la moyenne de 30% observées dans le Bassin du Congo (**Tableau 7**). Elle reste néanmoins comparable au rendement du Padouk sur le site d'étude (17%). Ce faible rendement est majoritairement dû à la présence de larges galeries d'insectes en périphérie des grumes, parfois jusqu'au centre.

Tableau 7 : Résultats de l'essai de sciage du Mubala

n	volume parc (m ³)	produit	Volume scié (m ³)	Rendement sciage (%)	Rendement total (%)	Volume profilé (m ³)	Rendement final (%)
3	19.5	platelage	2.8	14.2	16.5	1.6	8.2
		lambris	0.5	2.3		-	-
23	143.3	lambourdes	21.9	15.3	16.7	-	-
		lambris	2.0	1.4		-	-

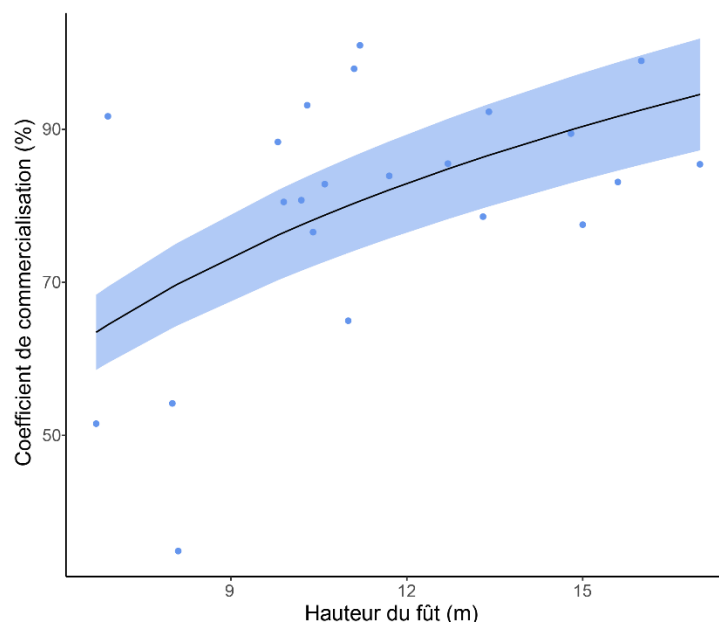


Figure 29 : Coefficient de commercialisation en fonction de la hauteur du fût.

Influence de l'environnement sur la qualité des arbres

Pour évaluer l'influence de l'environnement sur la qualité des arbres de Mubala, 140 pieds de Mubala ont été analysés dans une Assiette Annuelle de Coupe (AAC) de l'UFA 10-044 de Pallisco. Pour chaque arbre, la classe de qualité a été visuellement estimée sur base de critère de la société forestière (**Tableau 6**), les paramètres dendrométriques ont été mesurés (diamètre, hauteur de fût et hauteur de l'arbre) et les coordonnées GPS ont été relevées. Pour chaque arbre, 9 paramètres environnementaux ont également été mesurés, soit sur le terrain (statut de l'arbre, profondeur de sol,...), soit par système d'information géographique (indice d'humidité du sol, distance au cours d'eau,...). Au vu de nos résultats, l'environnement influence significativement la qualité des Mubala. Plus particulièrement, l'humidité de la station (**Figure 30**) impacte la proportion des arbres de qualité exploitable. Plus une station est humide, plus la proportion d'arbre de qualité D augmente au détriment des arbres de qualité B. Néanmoins la proportion globale d'arbre de qualité B reste faible dans l'ensemble du peuplement (seulement 4% dans l'AAC étudiée).

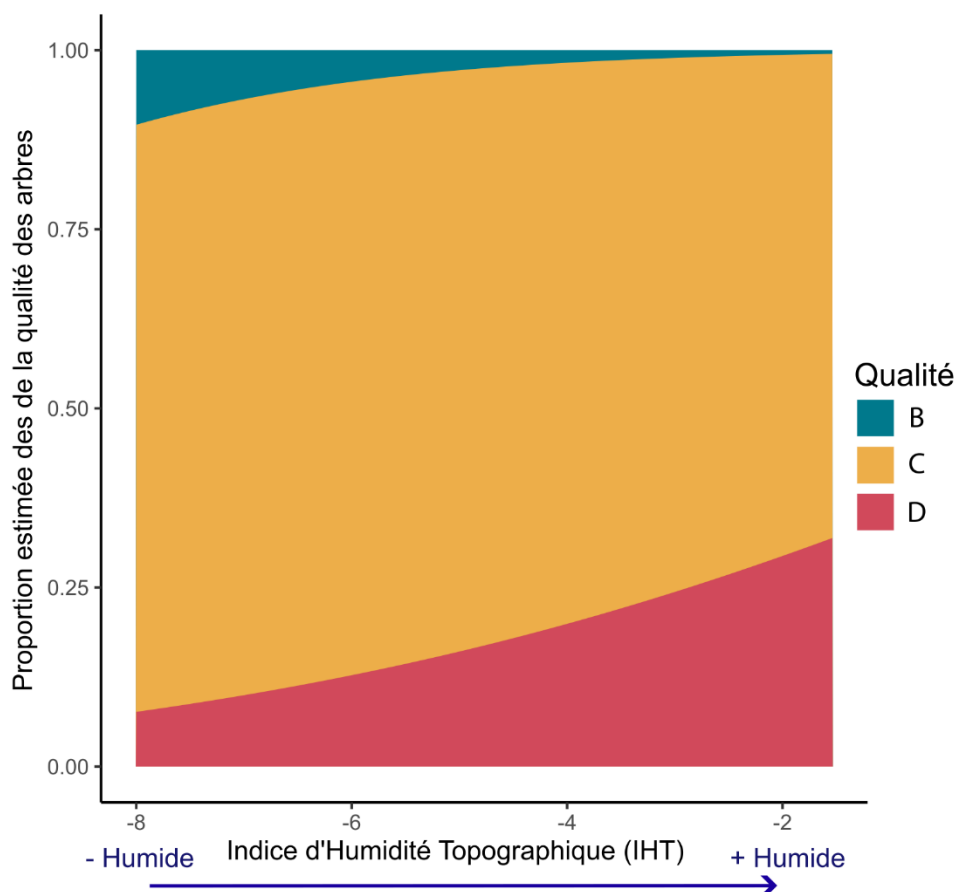


Figure 30 : Proportion des arbres dans les différentes classes de qualité en fonction de l'humidité du sol.

c) L'Eyek

A l'exception des difficultés liées au débardage et au transport de ses grumes souvent lourdes et volumineuses, aucune contrainte technique n'a été identifiée pour l'Eyek.

d) Les Omvong

Les principaux freins à la valorisation des Omvong sont : (i) l'effet désaffutant prononcé de leur bois et (ii) la présence de plusieurs espèces sous cette appellation aux propriétés différentes. Pour résoudre la problématique de l'effet abrasif du bois, l'efficacité des lames de scies à ruban au carbure de tungstène ont été testées pour la première transformation. Ce test a également permis d'évaluer la pertinence de différencier *Dialium polyanthum* de *Dialium bambidiense* et *Dialium lopense* lors des phases d'inventaire d'exploitation en comparant les rendements matière de ces espèces. Ensuite, une estimation de la ressource valorisable de chaque espèce dans les effectifs exploitables de PW-CEB a été investiguée par Victoria Iyabo, dans le cadre de son travail de fin d'études. Ce travail est disponible à l'**Annexe L**.

Rendements de transformation

Cet essai ayant été réalisé au début du projet, *D. bambidiense* et *D. lopense* n'avait pas encore été distinguées et ont été regroupées dans le même lot. Les trois espèces ont donc été sciées dans une unité de 1^{ère} transformation de bois composée de : 1 scie de tête à retournement sur laquelle a été placée la lame carbure (**Figure 31**), 1 déligneuse et 1 ébouteuse. Elles ont été utilisées pour produire des sciages de dimensions fixes (53 x 155 x 3050 mm) à partir de courçon de 3200 mm découpés sur le parc à grume. Les résultats de rendement sont présentés dans le **Tableau 8**.

Tableau 8 : Résultats de l'essai de sciage des Omvong

Espèce	Diamètre moyen courçons (cm)	Largeur moyenne d'aubier (cm)	Nombre de courçons	Volume sur parc (m ³)	Volume sciage total (m ³)	Rendement (%)
<i>D. bambidiense</i> et <i>D. lopense</i>	67,7	7,0	18	25,3	5	19,8
<i>D. polyanthum</i>	79,6	6,6	16	30	8,8	29,3

Le rendement sciage du lot de *D. bambidiense* et *D. lopense* est environ 10% moins élevé que celui de *D. polyanthum*, lequel avoisine 30%. Seul le rendement de *D. polyanthum* semble donc satisfaisant pour un contrat à largeur fixe, plus contraignant que les autres types de contrats. Il est raisonnable de penser que le rendement sciage de *D. polyanthum* peut atteindre 35% pour des contrats classiques.

La différence de rendement entre les espèces peut être expliquée, par une largeur d'aubier supérieure pour *D. bambidiense* et *D. lopense*, des diamètres de courçons moyens supérieurs et des fût plus droit pour *D. polyanthum*. Si ces deux paramètres sont constants, *D. polyanthum* s'avère plus intéressant que les deux autres espèces. L'efficacité de l'alliage au carbure de tungstène a pu être démontrée lors de cet essai sciage. Le constat est sans appel, lors d'un essai antérieur, une lame classique n'a pas pu scier plus d'un courçon. Dans le cas présent, la lame au carbure a permis de scier les 55,3 m³ sans interruption. Cette technologie est donc pressentie comme la solution à la valorisation industrielle du bois d'Omvong.



Figure 31 : Découpe d'un courçon de *Dialium lopense* avec la lame au carbure du tungstène

Evaluation de la ressource valorisable des Omvong

Au vu de l'ensemble des résultats du projet, la valorisation de *D. bambidiense* semble compromise pour plusieurs raisons : (i) son bois ne peut pas être utilisé en classe d'emplois 4 contrairement aux autres espèces, (ii) ses rendements matière sont près de 10% inférieur à *D. polyanthum* et (iii) sa distribution géographique limitée. Pour évaluer la ressource réellement valorisable des différentes espèces d'Omvong, 391 arbres mentionnés comme Omvong dans l'inventaire d'exploitation de 3

Assiettes Annuelles de Coupes (une dans chaque UFA de PW-CEB) ont été ré-identifiés. Pour chaque arbre, l'espèce (*D. polyanthum*, *D. bambidiense*, *D. pachyphyllum* ou *D. lopense*) a été précisée et une classe de qualité a été estimée à l'aide des critères de classification de la société forestière (**Tableau 9**).

Tableau 9 : Critères de classification de la qualité des arbres à PW-CEB

Classe de qualité	Description
A	Fût « export », sans défauts rédhibitoires, de plus de 12 mètres de longueur
B	Fût « export » de qualité moindre, de plus de 6 mètres de longueur
C	Fût pouvant faire l'objet d'une transformation locale (longueur insuffisante pour l'export, présence de défauts...) de plus de 4 mètres de longueur
D	Fût non valorisable

Sur les 391 pieds étudiés, 247 ont été ré-identifiés comme *D. bambidiense*, 141 comme *D. polyanthum* et 3 comme *D. lopense*. *D. pachyphyllum* n'a jamais été observé, confirmant donc le fait qu'il n'atteint pas le diamètre minimum d'exploitation légale des Omvong, soit un diamètre de 70 cm. La proportion de *D. lopense* étant très faible, elle n'est pas intéressante pour l'industrie et n'a pas été retenue pour la suite des analyses. Dès lors seul *D. polyanthum* semble réellement valorisable. La proportion de cette espèce variant significativement entre les trois UFAs, la densité de ses arbres a été évaluée en fonction de ces dernières (**Tableau 10**). Pour estimer le volume réellement mobilisable, seuls les arbres des deux meilleures classes de qualité ont été considérés comme exploitables. Selon nos résultats, 20.981 m³ de *D. polyanthum* serait mobilisable dans l'UFA 1, 24.789 m³ dans l'UFA 2 et 16.169 m³ dans l'UFA 3. En conclusion, sur les 289.000 m³ d'Omvong disponibles selon le plan d'aménagement des trois UFA, environ 62.000 m³ seraient réellement mobilisables.

Tableau 10 : Estimation des volumes exploitables de *D. polyanthum*

	UFA 1	UFA 2	UFA 3
Densité estimée (tige/ha) dans les plans d'aménagement de toutes les espèces confondues	0,271	0,205	0,062
Volume exploitable (>70cm de diamètre) estimé (m ³) dans les plans d'aménagement de toutes les espèces confondues	137 581	108 014	43 002
Proportion de <i>D. polyanthum</i> (en %)	25	45	47
Proportion des classes de qualités 1 et 2 (en %) de <i>D. polyanthum</i>	61	51	8
Estimation des densités (tige/ha) exploitables de <i>D. polyanthum</i>	0,041	0,047	0,02
Estimation du volume (m ³) exploitable de <i>D. polyanthum</i>	20 981	24 789	16 169

e) L'Eveuss

Le frein principal identifié pour la valorisation de l'Eveuss est la présence d'un bois de transition, parfois large, de couleur différente du duramen. Selon nos résultats, ce bois de transition n'atteint que la classe d'emploi 3.1 alors que le duramen peut être utilisé en classe d'emploi 4. Si la valorisation de cette essence dépend uniquement du duramen, les rendements sciages seront vraisemblablement trop faibles. C'est pourquoi nous suggérons de valoriser les deux types de bois sous deux appellations commerciales, différentes: Eveuss noir et Eveuss blanc en référence à leur couleur. Pour optimiser la valorisation, nous recommandons de scier la partie duraménisée en cœur enrobé (**Figure 32**) pour les ouvrages hydrauliques (ATIBT, 2022a). La partie restante du duramen et le bois de transition serait

valorisé sous forme d'avivés de différentes sections. Ce type de production nécessite néanmoins une chaîne de sciage spécialisée avec une possibilité de retourner les grumes sur la scie de tête. Si l'Eveuss noir peut aisément substituer des essences actuellement exploitées, telles que l'Azobé, l'Okan ou le Tali, l'Eveuss blanc n'est utilisable que dans certaines situations (fond de véhicules, charpente lourde non exposée) et les chances de commercialisation du bois de transition restent donc limitées. Au vu des nombreuses molécules intéressantes dans ce type de bois (activité antioxydante, production de tanins pour le tannage du cuir ou encore production de molécules plateformes), le bois de transition pourrait également être considéré comme coproduit et valorisé dans l'industrie chimique.

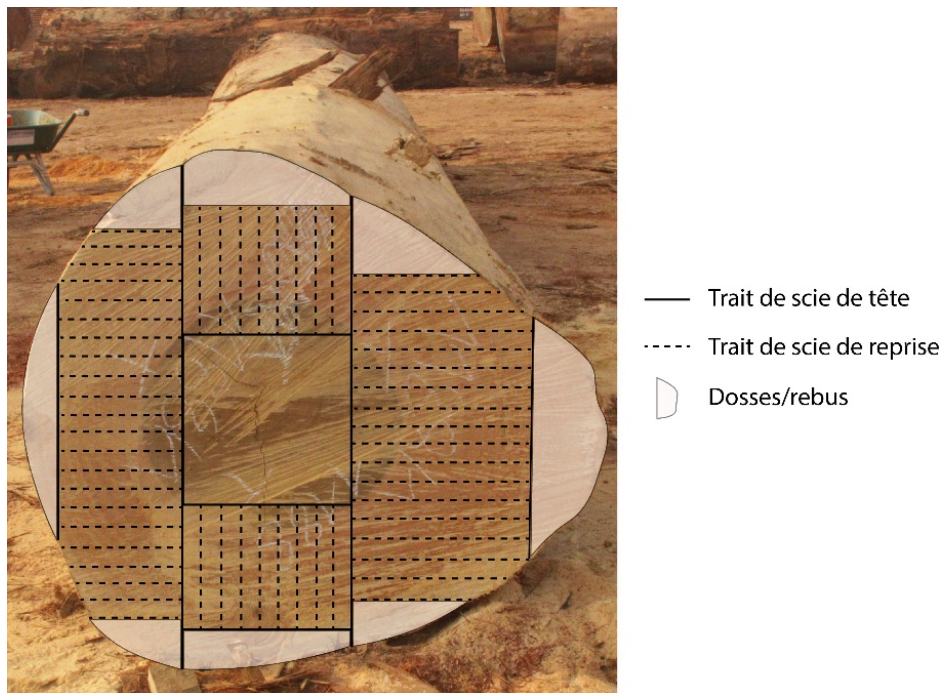


Figure 32: Schéma de sciage proposé pour la production de cœur enrobé d'Eveuss noir et d'avivés d'Eveuss blanc.

f) L'Ossoko

Le principal frein identifié à la mobilisation de l'Ossoko est la présence de cannelures à la base de la plupart des arbres. Ce défaut rend l'estimation des volumes complexe et pourrait également affecter les rendements de transformation. Ces problématiques ont été traitées dans le Chapitre 5 de la thèse de Doctorat de Robin Doucet (**Annexe D** ou en consultant le lien suivant : <https://hdl.handle.net/2268/315947>). L'ensemble des méthodes utilisées et des résultats obtenus y sont détaillés.

Estimation des volumes

L'impact des cannelures sur le volume sur pied a été évalué sur 78 arbres. Pour chaque arbre, les variables suivantes ont été mesurées : diamètre à 1m30, mesuré au-dessus des cannelures (D en m, voir **Figure 33**), la hauteur du fût (h en m), la profondeur de la plus grande cannelure (p en m, voir **Figure 33**) et le volume de l'arbre (V en m³). Le volume a été mesuré sur base de la technique de photogrammétrie. Le tronc de chaque arbre a été filmé par un drone (**Figure 34**), pour extraire entre 300 et 600 photos de ce dernier. Ces photos ont ensuite été assemblées pour recréer un modèle 3D de l'arbre. Les volumes ont finalement été mesurés sur base de ces modèles 3D. Ensuite, différentes relations statistiques ont été testées pour évaluer l'impact du diamètre, de la profondeur de la plus grande cannelure sur le volume et de la hauteur du fût sur le volume de l'arbre. A l'issue de nos calculs, une équation de cubage parcimonieuse a pu être définie :

Dans cette équation, le diamètre est corrigé en retranchant la profondeur de la plus grande cannelure. Cette correction peut aisément être appliquée par les opérateurs en forêt et permet de réduire l'erreur moyenne d'estimation de 53% par rapport à un tarif de cubage qui ne l'intègre pas.

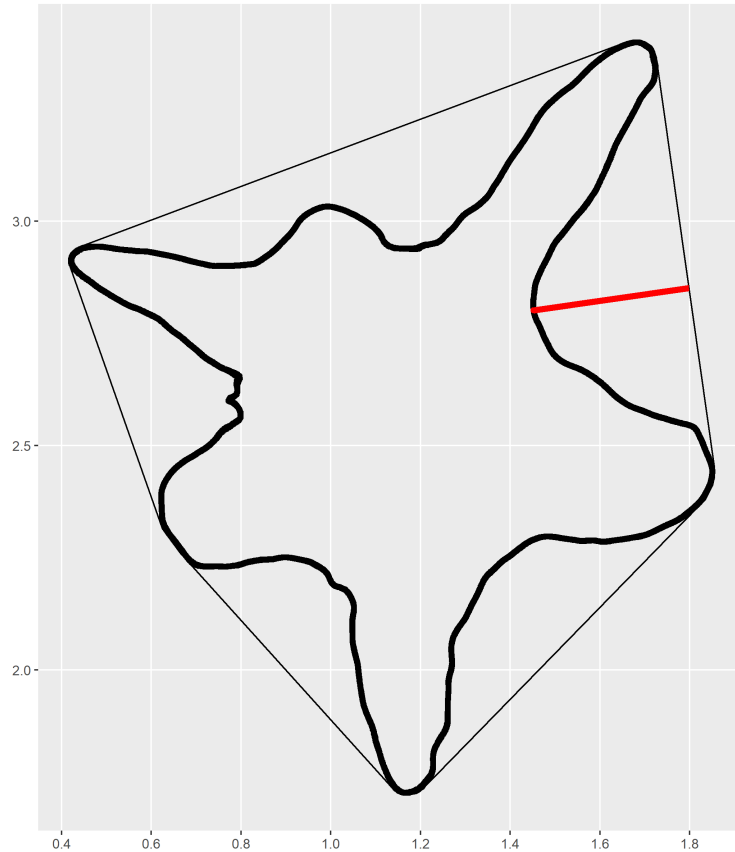


Figure 33: Vue transversale de la section d'une tige de Sorro à 1m30 et matérialisation de la mesure du diamètre et de la profondeur de la cannelure. Le trait continu en gras représente la section de l'arbre ; le trait continu fin représente le mètre ruban et le trait rouge correspond à la profondeur de la plus grande cannelure, mesurée perpendiculairement au mètre ruban.

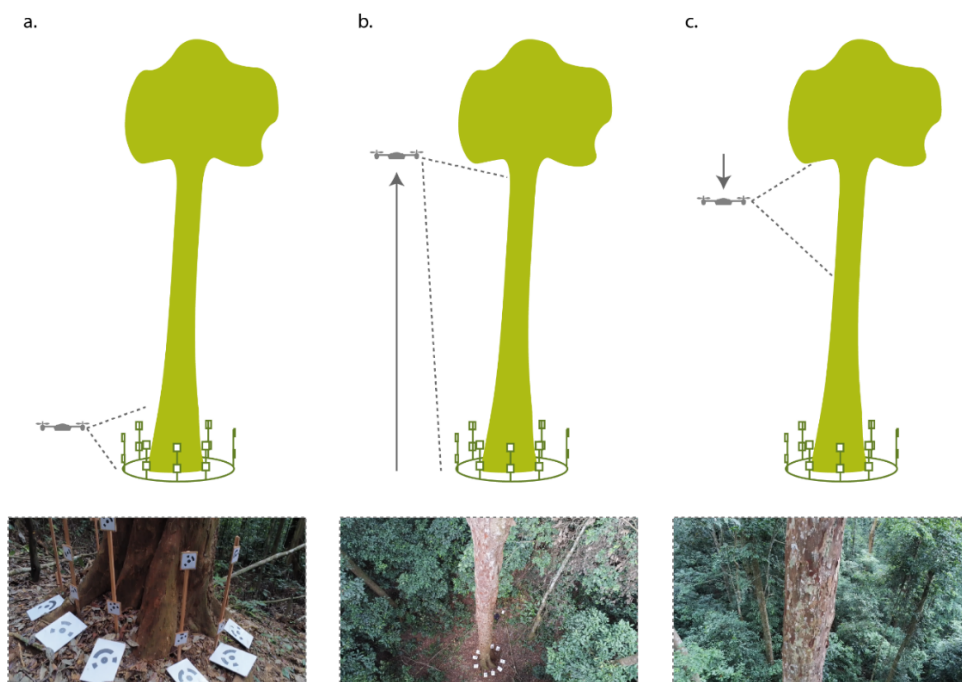


Figure 34: Plan de vol du drone lors de l'acquisition d'image. a. positionnement du drone entre deux cibles et visualisation du centre de chaque cible; b. élévation du drone en maintenant les cibles dans le champ de vision de la caméra; c. descente en focalisant la visée sur le tronc.

Rendements de transformation

Pour évaluer l'impact des cannelures et du diamètre sur les rendements de transformation, les paramètres suivants ont été mesurés sur 15 pieds : le diamètre de l'arbre sur les cannelures (en m, voir **Figure 33**), la hauteur du fût (en m) et la profondeur de la plus grande cannelure (en m, voir **Figure 33**). Une fois les 15 arbres abattus, la productivité du tronçonnage forêt a été évaluée. Cette productivité a été définie pour chaque arbre comme étant : « le volume de bois chargé sur le grumier après le tronçonnage des défauts (éculage, cœur creux, branche, taille des cannelures) divisé par le temps de tronçonnage effectif (temps de tronçonnage mesuré uniquement lorsque le guide de tronçonneuse touche le bois), cette productivité est exprimée en m^3/h ». Une fois arrivées à la scierie de PW-CEB, les billes ont été tronçonnées en billons de tailles équivalentes aux standards du sciage de l'Okoumé. La productivité du tronçonnage parc a également été mesurée pour chaque arbre et se définit comme : « le volume de bois entrant dans la chaîne de sciage après préparation des billons, divisé par le temps de tronçonnage effectif (temps de tronçonnage mesuré uniquement lorsque le guide de tronçonneuse touche le bois), exprimé en m^3/h ». Chaque arbre a ensuite été scié indépendamment sur la chaîne de sciage destiné au sciage de l'Okoumé et le rendement sciage de chaque arbre a été calculé.

Comme attendu, la productivité forestière décroît avec l'augmentation de la taille des cannelures (**Figure 35**). C'est notamment dû à la découpe et la taille des cannelures qui prend plus de temps lorsqu'elles sont plus prononcées. La productivité du parc décroît également mais elle tend à se stabiliser à partir d'une profondeur de cannelure de 20 cm. La productivité utilisée dans ce rapport est la productivité sur le temps effectif de tronçonnage. Les valeurs mentionnées ne représentent donc pas une situation réelle où le temps total de tronçonnage ponctué par de nombreuses variables difficilement quantifiables tel que le déplacement entre les zones de coupe, l'affutage de la lame ou le remplissage du carburant.

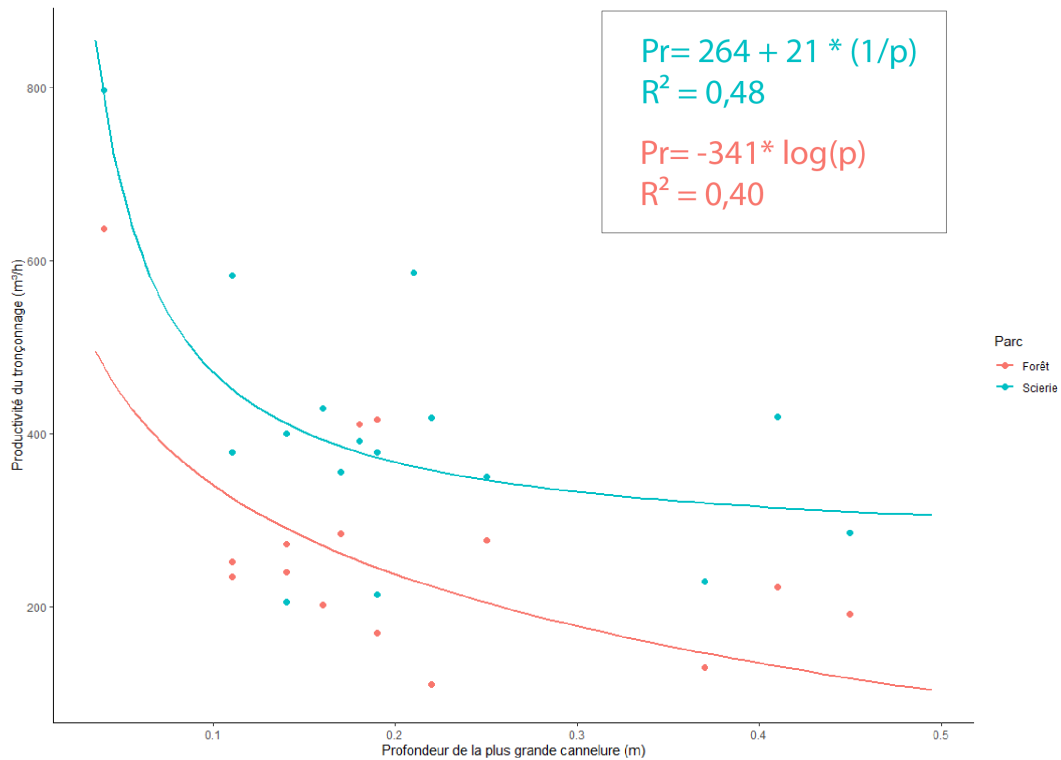


Figure 35: Productivité du tronçonnage en fonction de la profondeur de la plus grande cannelure de l'Ossoko

Une relation positive entre le diamètre corrigé (diamètre mesuré à 1m30 auquel on soustrait la profondeur de la plus grande cannelure) a été observée sur l'échantillon testé (**Figure 36**). Selon cette courbe, le rendement moyen de 30%, observé dans la sous-région du Bassin du Congo, n'est atteint qu'à un diamètre corrigé de 1m20. Ce rendement reste faible en comparaison de celui de l'Okoumé, atteignant parfois 50% sur le site d'étude.

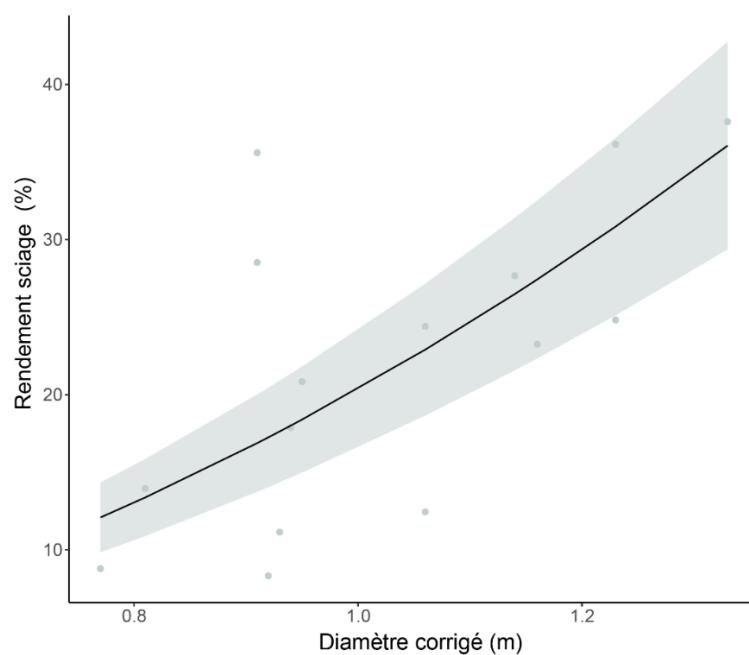


Figure 36: Rendement sciage de l'Ossoko en fonction du diamètre corrigé des arbres. Le diamètre corrigé correspond au diamètre mesuré à 1m30, auquel est retranchée la profondeur de la plus grande cannelure

Activité 4.3 : Actions de promotion

a) Descriptif de l'activité

Après avoir identifié des usages intéressants et économiquement rentables, il convient de vulgariser les résultats et de promouvoir les essences ou les usages nouveaux.

b) Résultats

Pour diffuser et vulgariser les résultats, plusieurs actions ont été menées. Lors de la réunion du consortium des projets DYNAFOR et P3FAC au siège de l'AFD à Paris, le 7 Avril 2022, le projet a été présenté. A l'issue de cette présentation, une série de stylos-billes, tournés dans les différentes essences du projet (**Figure 37**), a été distribuée aux participants. Lors du Forum de l'ATIBT à Nantes, tenu du 1^{er} au 3 Juin 2022, dans le cadre du Carrefour International du Bois (CIB), le projet a été présenté à certains acteurs de la filière bois et une seconde distribution de stylos-billes a été opérée (**Figure 37**). Ces actions avaient pour but de mettre en avant le projet EHPval afin faciliter la diffusion des résultats en fin de projet. Dans le cadre de l'édition 2024 du CIB, se déroulant du 28 au 30 Mai à Nantes, les recommandations formulées lors du projet, en termes de mobilisation forestière des essences secondaires, ont été présentées durant une table ronde organisée par l'ATIBT.



Figure 37 : Quatre exemplaires de stylo-billes distribués lors des événements de promotion.

Afin de promouvoir l'utilisation de l'Omvong, une série d'aménagements de la brasserie Beerfac à Gembloux Agro-Bio Tech a été réalisée en *Dialium lopense* et *Dialium bambidiense* (**Figure 38**). L'ensemble du bois utilisé provient de la concession partenaire PW-CEB. L'entièreté du bar, 30 tables ainsi que de nombreuses tablettes ont été réalisées. Une explication quant à l'origine de ces bois ainsi que le projet dans le cadre duquel ces aménagements ont été réalisés a été ajoutée sur le menu de la brasserie. Pour finir, un parcours de santé extérieur en Mubala est en cours de réalisation au CRA-w pour promouvoir son utilisation.

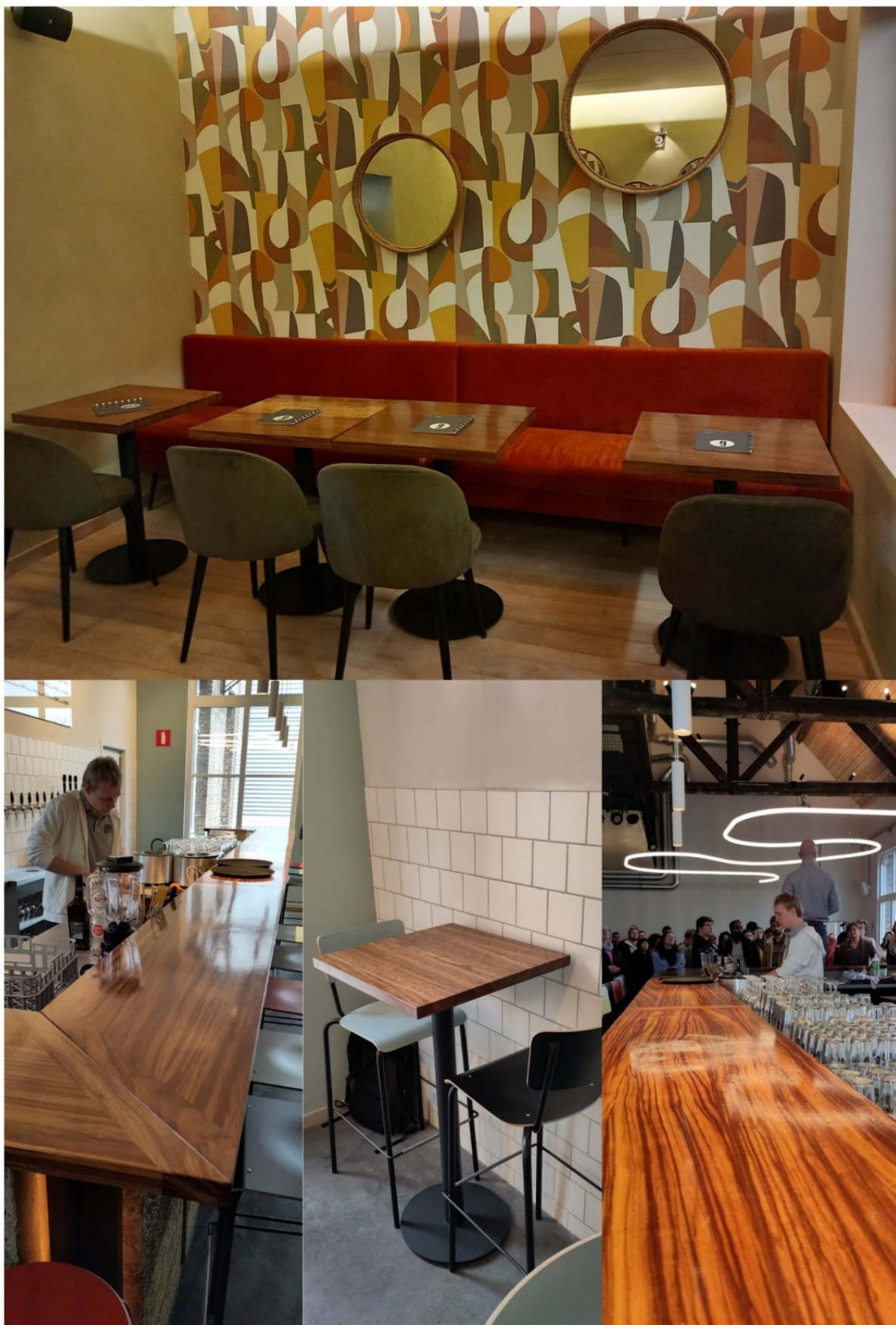


Figure 38: Divers aménagements de la brasserie Beerfac à Gembloux Agro-Bio Tech réalisés en Omvong provenant des forêts de PW-CEB.

Capitalisation et diffusion des résultats

Durant ce projet, les résultats ont été diffusés/sont en cours de diffusion dans la sphère scientifique, sous la forme de deux thèses de doctorat, de cinq publications scientifiques, de cinq mémoires de fin d'étude, et de trois communications scientifiques. Ils ont également été diffusés dans la sphère publique sous la forme de huit rapports semestriels de projet, d'un rapport final d'activité, de deux actualités de l'ATIBT, de quatre présentations et d'un reportage.

Thèse de doctorat :

- Robin Doucet (2024). *Une Approche Intégrée pour la Valorisation d'Espèces Ligneuses Secondaires des Forêts d'Afrique Centrale* [Doctoral thesis, ULiège. GxABT - Liège Université. Gembloux Agro-Bio Tech] ;
- Gaël Bibang Bengono (en cours de rédaction). *Valorisation des composés bioactifs issus des co-produits de sciage des espèces du genre Dialium (Fabaceae, Dialioideae) du Gabon* [Doctoral thesis, ULiège. GxABT - Liège Université. Gembloux Agro-Bio Tech]

Publications scientifiques :

- Gaël Bibang Bengono, Alain Souza, Félicien Tosso, Robin Doucet, Aurore Richel & Jean-Louis Doucet (2021). Les *Dialium* de la région guinéo-congolaise (synthèse bibliographique). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 25(3), 172-191 ;
- Robin Doucet, Jean-Louis Doucet, Philippe Lejeune, Cécile Verheyen, Tom De Mil, Patrick Martin, Paul Lagoute & Benoit Jourez (2021). Wood description and uses assessment of *Pachyelasma tessmannii* (Harms) Harms. *Eur. J. Wood Wood Prod.*, 80(1), 199-212 ;
- Robin Doucet, Gaël Bibang Bengono, Marius Ruwet, Isabelle Van De Vreken, Briec Lecart, Jean-Louis Doucet, Juan Antonio Fernandez Pierna, Philippe Lejeune, Benoit Jourez & Aurore Richel (2022). Highlighting a new morphospecies within the *Dialium* genus using leaves and wood traits. *Forests*, 13(8), 1339 ;
- Robin Doucet, Franciscus Jozef Breteler, Marius Ruwet, Olivier Hardy, Steven Janssens, Gaël Bibang Bengono, Philippe Lejeune & Jean-Louis Doucet [en cours de révision par les co-auteurs]. Description of a new *Dialium* tree species (Leguminosae, Dialioideae) in eastern Gabon and first insights on its ecology. *Taxon* ;
- Gaël Bibang Bengono, Robin Doucet, Jean-Fabrice Yala, Briec Lecart, Rolande Mabicka Mabicka, Isa-belle Van De Vreken, Ornella Zong Minko, Maximilian Augé-Stock, Cédric Sima Obiang, Jean-Louis Doucet, Richel Aurore & Alain Souza [en cours de révision]. Polyphenol content, antioxidant, and antimicrobial activities of sawmill by-products of African rainforest *Dialium* species. *Antioxydant*.

Mémoires de fin d'étude :

- Romé Koumba Koumba (2019). *Evaluation des effet antihyperglycemiants des extraits d'essences forestières des genres Klainedoxa et Dialium chez les rats normaux* [Mémoire de fin d'étude] Université des Sciences et Techniques de Masuku ;
- Marius Ruwet (2021). *Caractérisations morphologiques, spectrales et génétiques des Eyoum (Dialium spp.)*. [Mémoire de fin d'étude]. Université de Liège ;

- Alexandre Bûche (2022). *Impact of thermal modification on properties of tropical and temperate timber species*. [Mémoire de fin d'étude]. Université de Liège ;
- Patrice Ondoua Ondoua (2022). *Etude du potentiel de valorisation du *Pentaclethra macrophylla* Benth. (Mubala) dans l'UFA 10 044(aac-4-3)*. [Mémoire de fin d'étude]. Université de Dschang ;
- Victoria Iyabo (2024). *Estimation de la ressource valorisable des espèces du genre *Dialium* au sein de la concession forestière CEB-PW/Gabon*. [Mémoire de fin d'étude]. Ecole régionale postuniversitaire d'aménagement et de gestion intégrés des forêts et territoires tropicaux.

Travail de groupe :

- Thibaud Dalimier, Camille Dubois, Claire Masson & Harold t'Serstevens (2022). *Etude de croissance du bois d'essences de promotion pour diversifier l'exploitation forestière en Afrique centrale* [Projet de groupe]. Université de Liège.

Communications scientifiques :

- Robin Doucet, Lejeune Philippe, Gauthier Ligot, Cécile Verheyen, Armel Fotso, Laurent Cossart, André Enyengue, Patrick Martin, Paul Lagoute & Jean-Louis Doucet (07 Juin 2022). *Avoiding past mistakes of logging in the Congo Basin by promoting adapted new species* [Présentation de Poster]. European Conference of Tropical Ecology, Montpellier, France ;
- Robin Doucet, Franciscus Jozef Breteler, Marius Ruwet, Gaël Bibang Bengono & Jean-Louis Doucet (05 Avril 2023). *Description d'une nouvelle espèce d'arbre de la canopée des forêts gabonaises par une approche multidisciplinaire* [Présentation de Poster]. ECOVEG 16, Marseille, France.
- Gaël Bibang Bengono, Robin Doucet, Alain Souza, Jean-Louis Doucet & Aurore Richel (Décembre 2022). *Impact of eco-extractive methods on the extraction of polyphenols and antioxidant and antimicrobial activities from *Dialium* waste wood and barks* [Présentation orale] Journée Internationale de la médecine Traditionnelle _IPHAMETRA-Gabon

Actualité de l'ATIBT :

- « *Des Eyoum sous la loupe* » :
<https://www.atibt.org/fr/annoncements/136/des-eyoum-sous-la-loupe>
- « *Deux défenses de thèses à Gembloux Agro-Bio Tech* » :
<https://www.atibt.org/fr/annoncements/249/deux-defenses-de-theses-a-gembloux-agro-bio-tech>

Présentations extérieures :

- Robin Doucet (17 Mars 2022). *La diversification des essences forestières dans le Sud-Est Cameroun : le cas de Pentaclethra macrophylla Benth.* [Présentation dans le cadre d'un séminaire sur les forêts]. Gembloux Agro-Bio Tech, Gembloux, Belgique
- Robin Doucet (06 Mars 2019). *Le projet EHPval.* [Présentation dans le cadre du cours de chimie des substances naturelles]. Gembloux Agro-Bio Tech, Gembloux, Belgique
- Robin Doucet (11 Novembre 2021). *Valorisation de l'Éyek* [Présentation dans le cadre du Think Tank ATIBT].
- Robin Doucet & Gaël Bibang Bengono (15 Janvier 2020). *Projet EHPVAL : Essences à Haut Potentiel de Valorisation* [Présentation dans le cadre d'une assemblée marketing de l'ATIBT]. ATIBT, Nogent-sur-Marne, France
- Robin Doucet (29 Mai 2024). *Recommandations pour la gestion durable des LKTS en Afrique Centrale* [Présentation dans le cadre de la participation de l'ATIBT au Carrefour International du bois]. CIB, Nantes, France

Reportage :

- Pierre Dumont (24 Mai 2023). *Gembloux Agro-Bio Tech soutient la biodiversité au Gabon* [Chaine Boukè]: <https://www.bouke.media/info/gembloux-agro-bio-tech-soutient-la-biodiversite-au-gabon/9236>

Bibliographie

- ATIBT. (2016). *Nomenclature générale des bois tropicaux* (Associatio). Nogent-sur-Marne.
- ATIBT. (2022a). Les bois pour ouvrages hydrauliques. *Fiches Techniques 14*, 18.
- ATIBT. (2022b). Timber under rails and related uses. *Fiches Techniques 16*, 1–24.
- ATIBT & FFEM. (n.d.). *Quel avenir pour les produits bois éco-certifiés africains sur le marché européen?*
- Collet, R. (2017). *Classement pour la résistance mécanique du chêne par méthodes vibratoires et par mesure des orientations des fibres*. École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Pari Tech.
- Doucet, R., Doucet, J. L., Lejeune, P., Verheyen, C., De Mil, T., Martin, P., ... Jourez, B. (2021). Wood description and timber use investigation of *Pachyasma tessmannii* (Harms) Harms. *European Journal of Wood and Wood Products*, 80(1), 199–212. <https://doi.org/10.1007/s00107-021-01758-3>
- Eba'a Atyi, R., Hiol Hiol, F., & Lescuyer, G. (2022). *Les forêts du bassin du Congo : État des Forêts 2021*. <https://doi.org/10.17528/cifor/008565>
- Fayolle, A., Engelbrecht, B., Freycon, V., Mortier, F., Swaine, M., Réjou-Méchain, M., ... Gourlet-Fleury, S. (2012). Geological Substrates Shape Tree Species and Trait Distributions in African Moist Forests. *PLoS ONE*, 7(8), e42381. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042381>
- Fétéké, F., Nkolong, E., & Hubert, D. (2004). *Unité Forestières d'Aménagement 10.041, 10.042 et 10.044 regroupées - Plan d'aménagement*.
- FRM. (2018). *Vision stratégique et industrialisation de la filière bois dans les 6 pays du Bassin du Congo, Horizon 2030*. Montpellier.
- Gérard, J., Guibal, D., Paradis, S., & Cerre, J.-C. (2016). *Atlas des bois tropicaux : caractéristiques technologiques et utilisations*.
- Gérard, J., Guibal, D., Paradis, S., & Cerre, J.-C. (2017). *Tropical Timber Atlas* (Quae). Versailles.
- Gérard, J., Guibal, D., Paradis, S., Vernay, M., Beauchêne, J., Brancheriau, L., ... Thibaut, A. (2011). *Tropix 7*. <https://doi.org/https://doi.org/10.18167/74726f706978>
- Hubau, W., Van den Bulcke, J., Kitin, P., Mees, F., Van Acker, J., & Beeckman, H. (2012). Charcoal identification in species-rich biomes: A protocol for Central Africa optimised for the Mayumbe forest. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 171, 164–178. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2011.11.002>
- Ligot, G., Gourlet-Fleury, S., Dainou, K., Gillet, J. F., Rossi, V., Mazengué, M., ... Doucet, J. L. (2022). Tree growth and mortality of 42 timber species in central Africa. *Forest Ecology and Management*, 505, 119889. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119889>
- Louppe, D., Oteng-Amoako, A., & Brink, M. (2008). *Ressources végétales de l'Afrique tropicale 7(1). Bois d'oeuvre 1* (D. Louppe, A. Oteng-Amoako, & M. Brink, Eds.). Wageningen, Netherlands: PROTA Foundation.
- Martin, P., & Vernay, M. (2016). *Guide d'utilisation des bois africains éco-certifiés en Europe* (ATIBT; ATIBT, Ed.). Retrieved from <https://www.atibt.org/wp-content/uploads/2016/12/ATIBT-GUIDE-FR-web.pdf>
- MEFEPEPN. (2004). *Arrêté n°000118/PR/MEFEPEPN fixant les diamètres minima d'exploitabilité administratifs des bois d'oeuvre* (p. 3). p. 3. <https://doi.org/10.2307/j.ctv69tfb9.10>

- Meunier, Q., Moumbogou, C., & Doucet, J.-L. (2015). *Les Arbres Utiles du Gabon* (les presse). Gembloux, Belgique.
- MINFOF. (2001). *Arrêté N°0222 du 25 Mai 2001 fixant les procédures d'élaboration, approbation, de suivi et de contrôle de la mise en oeuvre, des plans d'aménagement des forêts de production du domaine forestier permanent.*
- 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. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03483-6>
- Scalbert, M., Vermeulen, C., Breuer, T., & Doucet, J. L. (2023). The challenging coexistence of forest elephants *Loxodonta cyclotis* and timber concessions in central Africa. *Mammal Review*, Vol. 53, pp. 15–31. <https://doi.org/10.1111/mam.12305>
- TerEA (Terre Environnement Aménagement). (2007). *Résumé du plan d'aménagement. Compagni Equatoriale des bois. Precious Wood Gabon.*
- White, F. (1979). The Guineo-Congolian Region and Its Relationships to Other Phytochoria. *Bulletin Du Jardin Botanique National de Belgique / Bulletin van de National Plantentuin van België*, 49(1/2), 11. <https://doi.org/10.2307/3667815>
- White, F. (1986). *La végétation de l'Afrique. Mémoire accompagnant la carte de végétation de l'Afrique Unesco* (ORSTOM & U). Paris: AETFAT/UNSO.
- White, F. (1993). The AETFAT Chorological Classification of Africa: History, Methods and Applications. *Bulletin Du Jardin Botanique National de Belgique / Bulletin van de National Plantentuin van België*, 62(1/4), 225. <https://doi.org/10.2307/3668279>