

Régénération et reconstitution de cinq essences commerciales de l'UFA Ipendja, nord du Congo

Paul Patrick Mangonga, Doctorant

Pierre Mbete, PhD, Maître de conférences CAMES

Laboratoire d'écologie appliquée et de l'environnement

Université Marien NGOUABI, Brazzaville, République du Congo

Aristide Ewamela, Professeur Titulaire CAMES

Laboratoire de Population et Développement

Université Marien NGOUABI, Brazzaville, République du Congo

[Doi:10.19044/esj.2026.v22n24p164](https://doi.org/10.19044/esj.2026.v22n24p164)

Submitted: 06 March 2026

Accepted: 24 August 2026

Published: 31 August 2026

Copyright 2026 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Mangonga, P.P., Mbete, P., & Ewamela, A. (2026). *Régénération et reconstitution de cinq essences commerciales de l'UFA Ipendja, nord du Congo*. European Scientific Journal, ESJ, 22 (24), 164. <https://doi.org/10.19044/esj.2026.v22n24p164>

Résumé

Cet article analyse la reconstitution de cinq essences commerciales dans l'UFA Ipendja, au nord du Congo, pour évaluer la capacité de régénération des forêts après exploitation. L'étude s'appuie sur 76 placettes de 100 x 25 m. Les espèces étudiées sont *Entandrophragma cylindricum*, *Entandrophragma utile*, *Khaya anthotheca*, *Pterocarpus soyauxii* et *Azelia bipindensis*. Les données proviennent d'inventaires systématiques portant sur des arbres de 10 à 129,99 cm de diamètre. La densité des petites tiges et le taux de reconstitution ont été évalués selon la norme FAO de 50 %. Les résultats montrent la dominance de *Pterocarpus soyauxii* et d'*Entandrophragma cylindricum*, mais une régénération limitée dans les petites classes de diamètre. *Entandrophragma cylindricum* présente encore des diamètres élevés, tandis que *Pterocarpus soyauxii* affiche un meilleur indice de reconstitution. Le test du χ^2 (22,89 ; ddl = 4 ; $p < 0,05$) indique une diminution significative des effectifs dans la zone exploitée, tendance susceptible de s'accroître malgré les recrus observés.

Mots-clés: Reconstitution, régénération, essences commerciales, durabilité, UFA-Ipendja

Regeneration and Reconstitution of Five Commercial Tree Species from the UFA Ipendja

Paul Patrick Mangonga, PhD student

Pierre Mbete, PhD, CAMES Senior Lecturer

Laboratory of Applied Ecology and the Environment

Marien NGOUABI University, Brazzaville, Republic of the Congo

Aristide Ewamela, Full Professor (CAMES)

Population and Development Laboratory

Marien NGOUABI University, Brazzaville, Republic of the Congo

Abstract

This paper focuses on analyzing the regeneration of five commercial tree species in the Ipendja Forest Management Unit (FMU) in northern Congo to assess forest regeneration capacity after logging. The study is based on 76 plots measuring 100 x 25 m. The species studied include *Entandrophragma cylindricum*, *Entandrophragma utile*, *Khaya anthotheca*, *Pterocarpus soyauxii*, and *Azelia bipindensis*. Data were obtained from systematic inventories of trees ranging from 10 to 129.99 cm in diameter. Small stem density and regeneration rate were assessed according to the FAO standard of 50%. The results show the dominance of *Pterocarpus soyauxii* and *Entandrophragma cylindricum*, but limited regeneration in the smaller diameter classes. *Entandrophragma cylindricum* still exhibits large diameters, while *Pterocarpus soyauxii* shows a better regeneration rate. The χ^2 test (22.89; df = 4; p < 0.05) indicates a significant decrease in numbers in the exploited area, a trend likely to intensify despite the observed recruitment.

Keywords: Regeneration, Commercial tree species, Sustainability, UFA-Ipendja

Introduction

La forêt de la République du Congo est répartie entre les principaux massifs du nord et du sud du pays, à savoir le massif du Nord, le massif du Chaillu et le massif du Mayombe. Ce couvert forestier congolais s'étend sur 23,5 millions d'hectares, soit 69 % de la superficie du territoire national (Ndera Tuyizere et al., 2025). Selon ces auteurs, elle représente 10 % du couvert forestier d'Afrique centrale et place la République du Congo dans la catégorie des pays à forte couverture forestière et où la part de la forêt par tête d'habitant est l'une des plus élevées de la planète avec 6 ha par habitant. L'Atlas forestier de la République du Congo indique que la forêt se répartit en

forêt primaire sur terre ferme avec une superficie de 14 123 816 ha, forêt secondaire sur terre ferme s'étendant sur 2 473 784 ha, forêt marécageuse d'une superficie de 7 240 918 ha, les strates non forestières représentant plus de 10 156 693 hectares, soit 29,7 %.

Cette couverture forestière contribue efficacement à la lutte contre le changement climatique avec près de 60 millions d'hectares de tourbières qui séquestrent plusieurs milliards de tonnes de carbone. Les forêts congolaises fournissent des biens et services écosystémiques diversifiés indispensables à la survie des riverains et au développement du pays. Il a été constaté une commercialisation de 1 560 tonnes de feuilles de *Gnetum* pour un montant total de 300 millions de FCFA, ainsi que la vente de 1 382 tonnes de miel pour 1 505 000 000 FCFA (Kimpouni, 2001). Elles constituent la seconde source d'emploi du pays après le secteur des combustibles fossiles. Sa contribution au PIB est d'environ 6 % (De Wasseige et al., 2015), contre 2,5 % pour les activités agricoles. Ces services socio-économiques sont très innovants selon l'Association technique internationale des bois tropicaux (2007).

Par ailleurs, le domaine forestier de l'État comprend le domaine forestier permanent (DFP) et le domaine forestier non permanent (DFnP). Le DFP a une superficie de 19,7 millions d'hectares, dont 70 % de forêt dense, 20 % de forêts mixtes et 10 % de surfaces non forestières, tandis que le DFnP, qui couvre 23 % du territoire national, est constitué de 59 % de forêts mixtes et de 41 % de mosaïques agriculture-forêt (Mertens et al., 2012). Les forêts de production, notamment les concessions forestières, occupent 14,7 millions d'hectares. Pour la décennie 2010-2020, le taux annuel de déforestation et de dégradation forestière est de 0,06 %. Sur le plan institutionnel, le Ministère de l'Économie Forestière (MEF) assure la gestion des ressources forestières. Ainsi, le domaine de production s'étend sur plus de 15 millions d'hectares (environ 75 % de la forêt congolaise), parmi lesquels 14 millions sont administrés par 60 concessions forestières (Korwin, 2021). La superficie aménagée des Unités Forestières d'Aménagement (UFA) est de 8 166 230 ha, contre 4 687 495 ha (MEF, 2021). L'unité forestière d'aménagement Ipendja, concernée par cette étude et dont la durée de rotation est de 30 ans (2012-2041), présente ce même taux de déforestation (MEF, 2012).

La régénération de la classe de diamètre de 10 à 69,99 cm et la reconstitution des tiges d'espèces exportées à la première rotation se traduisent par la raréfaction des gros diamètres d'espèces objectives (Karsenty et Gourlet-Fleury, 2006), aux conséquences irréversibles. Les prélèvements excessifs en volumes d'essences commerciales par endroits s'interprètent comme un pas vers le sabotage de la ressource existante (Karsenty et al., 2016) qui va conduire à la révision du plan d'aménagement. Cela a un impact négatif sur la régénération naturelle par suppression des semenciers de certaines espèces qui ravitaillent la banque des graines du sol et favorisent la

pérennisation de celle-ci (Douh, 2018). La composition structurale de la forêt est affectée, de même que la régénération et la reconstitution, si bien que ces essences deviennent vulnérables (Sepulchre et al., 2008). Il sera nécessaire que les concessionnaires définissent des règles de prélèvement spécifiques à chaque site et s'impliquent dans la régénération assistée, pour une gestion durable de la ressource.

Face à cela, l'amélioration de la gouvernance forestière et l'établissement d'un cadre de coopération pour la mise en œuvre d'un système national de vérification de la légalité et de la traçabilité de l'extraction et de l'exportation des grumes de bois vers l'UE ont permis de réduire le phénomène de déforestation (Louzolo, 2021). Toutefois, parmi les défis à relever figure notamment le financement des membres de la société civile impliqués dans la réglementation de l'exploitation des ressources forestières, afin de pallier leurs difficultés à demander des comptes aux exploitants forestiers, en lien avec les représailles (Korwin, 2021).

Au regard des multiples services et usages, la gestion durable de la forêt congolaise est une nécessité. Dans la perspective d'une exploitation à long terme et d'une gestion durable des cinq espèces retenues, à savoir *l'Entandrophragma cylindricum* (Sapelli), *l'Entandrophragma utile* (Sipo), le *Khaya anthotheca* (Acajou), le *Pterocarpus soyauxii* (Padouk) et *l'Afzelia bipindensis* (Doussié), une étude de la régénération et de la reconstitution a été menée dans l'unité forestière d'aménagement (MDDEF, 2012). Elle a consisté à évaluer les conditions de régénération des tiges de la classe de diamètre de 10 à 69,99 cm dans des placettes exploitées de 50 ha et d'examiner la probabilité de la bonne reconstitution à six (6) ans et la projection à 30 ans après la coupe d'exploitation de 2018.

Cette étude s'inscrit donc dans une perspective d'analyse de la capacité de régénération des essences exploitées afin d'évaluer le potentiel de reconstitution de la forêt après exploitation. En effet, dans l'UFA Ipendja du Nord Congo, l'exploitation forestière pourrait compromettre la régénération naturelle des essences commerciales. Or, la durabilité de la ressource dépend de la capacité de ces espèces à se reconstituer naturellement après la coupe. Quelle est alors la dynamique de régénération naturelle de ces cinq essences et dans quelle mesure leur reconstitution permet-elle d'assurer la pérennité de la forêt exploitée ? Il est supposé que la capacité de régénération naturelle des cinq essences commerciales dans la zone exploitée de l'UFA Ipendja varie selon les espèces et les conditions écologiques locales, influençant ainsi le taux global de reconstitution de la forêt. Pour vérifier cette hypothèse, une approche méthodologique adaptée a été mise en place à travers la collecte de données de terrain et leur analyse.

Matériel et méthodes

Présentation de la zone d'étude

L'étude a été menée dans l'Unité Forestière d'Aménagement (UFA) Ipendja, établie par l'arrêté n°4432 / MDDEFE / CAB. du 24 mars 2011. Les différentes subdivisions de l'UFA en UFP sont présentées à la Figure 1. Située dans le département de la Likouala, cette UFA s'étend sur 461 296 hectares de forêt dense sempervirente et semi-décidue, comme indiqué dans le Plan d'Aménagement élaboré par le Ministère du Développement Durable et de l'Environnement pour la période 2012-2041 (MDDEFE, 2012).

Les essences sélectionnées pour leurs qualités de bois et leurs usages traditionnels comprennent *l'Entandrophragma cylindricum* (Sapelli), représentant 80 % des prélèvements, *l'Entandrophragma utile* (Sipo) à 15 %, ainsi que le *Khaya anthotheca*, le *Pterocarpus soyauxii* et *l'Afzelia bipindensis* à 5 %. Appartenant aux familles des *Meliaceae* et des *Fabaceae*, ces essences ont des volumes de prélèvement estimés à 49 027 m³/an pour le Sapelli et 5 525 m³/an pour le Sipo. Un prélèvement excessif, sans gestion durable, menace leur pérennité et a déjà conduit à un déficit dans la reconstitution des espèces, comme l'indique le plan d'aménagement.

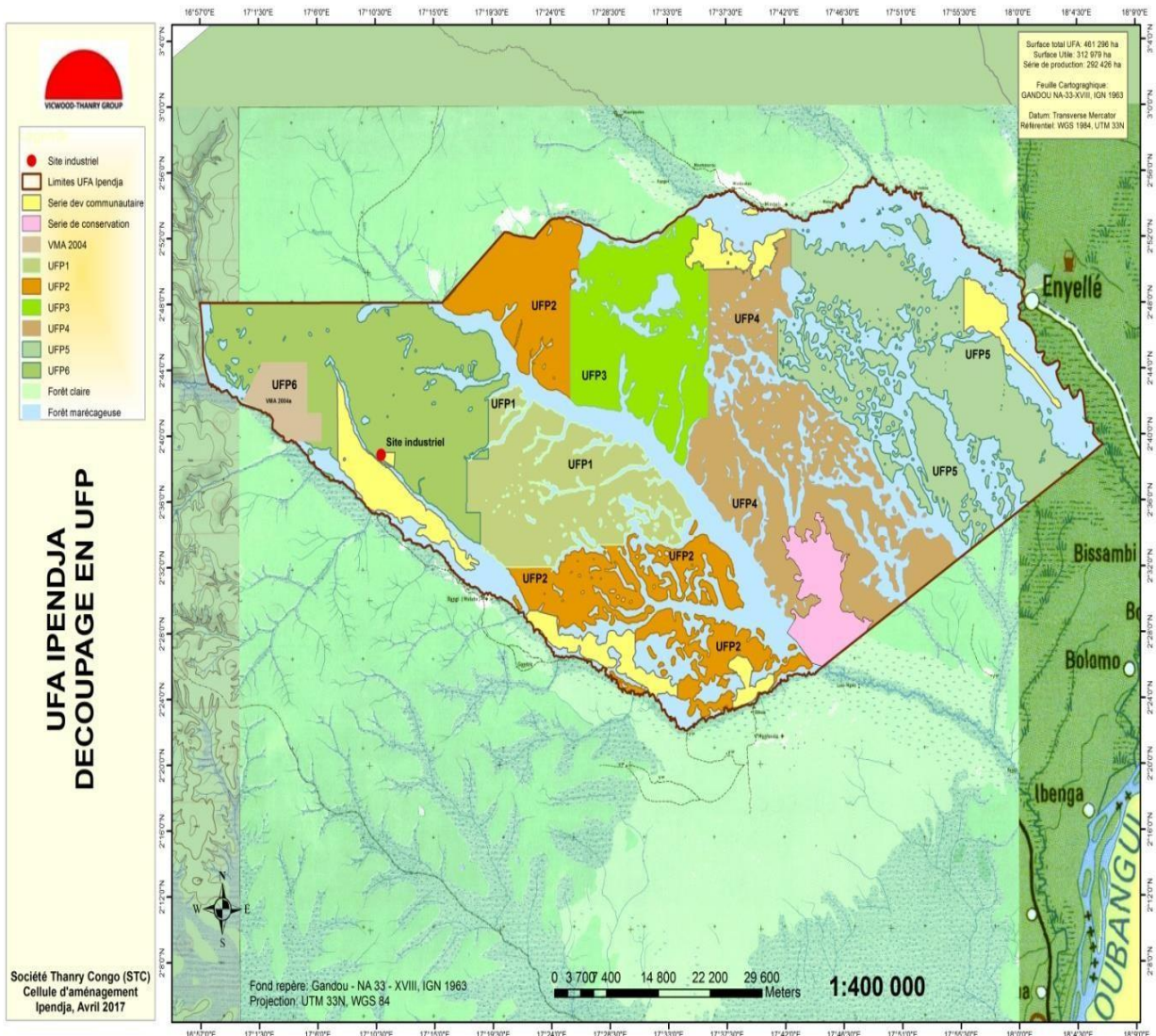


Figure 1: La subdivision en Unités Forestières de Production (UFP), de l'Unité Forestière d'Aménagement (UFA) Ipendja ; Société Thanry-Congo (2012)

Matériel utilisé

Pour la réalisation de cette étude, le matériel utilisé comprenait :

- ✓ une machette pour la délimitation des placettes ;
- ✓ un compas forestier Digitech Green Gator Eyes pour mesurer les diamètres des arbres ;
- ✓ un pentamètre pour la mesure des côtés des placettes ;
- ✓ une boussole TopoChaix pour l'orientation.

Méthode de collecte des données

L'étude s'est déroulée en deux volets : l'installation des placettes et l'inventaire systématique. Des placettes ont été installées dans trois parcelles de 50 hectares (1000 x 500 m), désignées G13, F13 et D14 par la société Thanry-Congo en 2018. Chaque parcelle a été subdivisée en placettes de 100 x 25 m, avec des pistes centrales pour les inventaires à 125 m, 250 m et 375 m, totalisant 76 placettes sur 19 hectares (Figure 2).

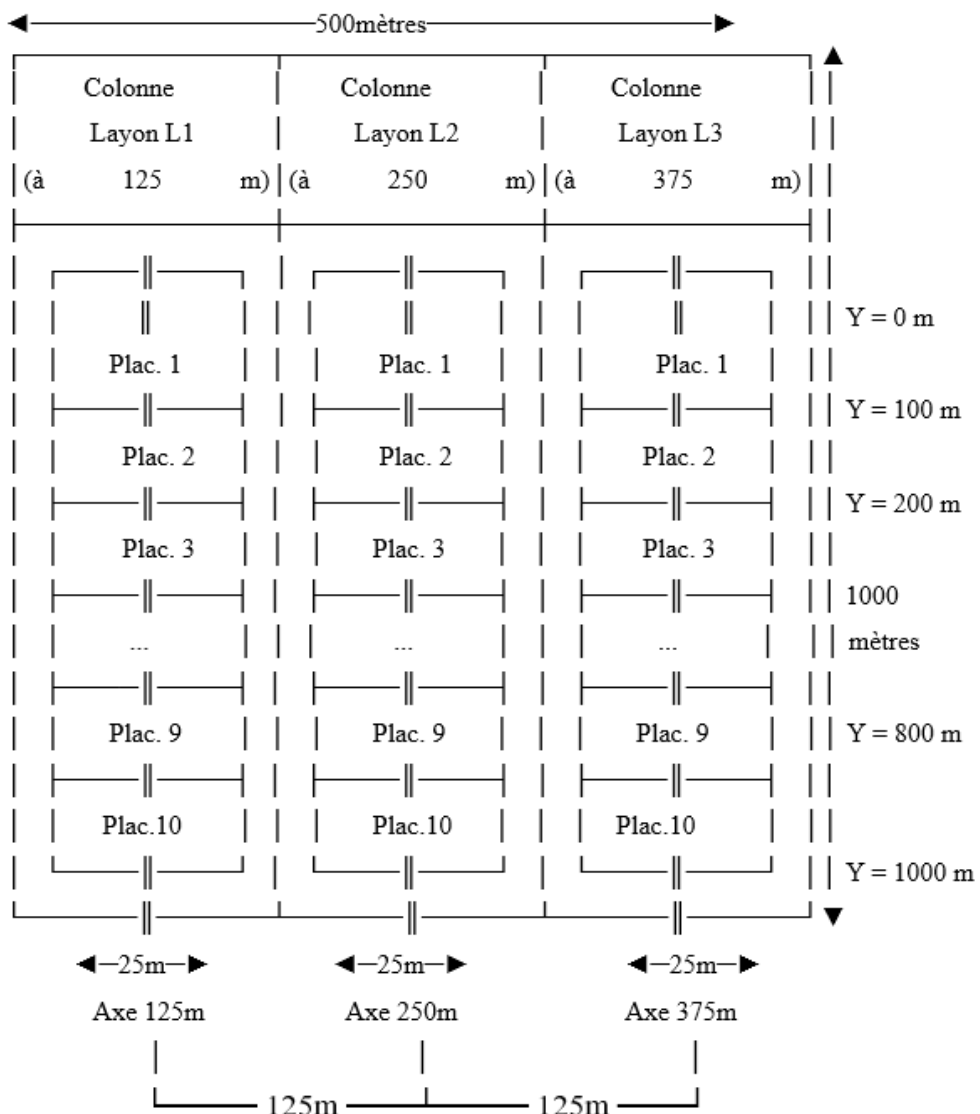


Figure 2: Zoom sur l'implantation centrée, schématisée des 10 placettes (100 X 25) m

Détail de l'inventaire sur placettes

L'équipe d'inventaire progresse sur l'axe du layon L1 au centre des 125 m de (0 à 1000) m. Les mesures dendrométriques et les comptages de régénération s'effectuent à l'intérieur du couloir de 25 mètres de large ainsi délimité.

	<-Largeur totale =25 m->		
Forêt résiduelle hors inventaire	12,5 m à G	12,5 m à D	Forêt résiduelle hors inventaire



AXE DU LAYON CENTRAL DES INVENTAIRES

(Ligne rouge jalonnée)

Figure 3: Zoom sur l'implantation centrée d'une placette (100 X 25) m AAC1-2018

La parcelle D14 comporte moins de placettes en raison de sa forme triangulaire, à la limite de l'UFA Ipendja et de l'UFA Lopola.

- ✓ L'inventaire systématique a permis de mesurer toutes les tiges dans chaque placette, en prenant en compte 12,5 m de chaque côté de la piste centrale, garantissant des données précises sur la composition et la structure des essences.
- ✓ En parallèle, la faune sauvage et la pression anthropique ont été inventoriées par le relevé des indices de présence d'espèces protégées et d'activités illégales sur le terrain, couplé à l'analyse des registres de saisies anti-braconnage de l'UFA Ipendja.

Analyse des indices d'importance écologique

Pour l'analyse des indices d'importance écologique des cinq espèces (Sapelli, Sipo, Padouk, Doussié, Acajou), les variables évaluées comprenaient le taux de régénération, la densité absolue, la densité par famille, la densité relative, la diversité relative, le coefficient de mélange, l'indice de Shannon, l'indice d'équitabilité de Pielou, la richesse spécifique des familles et le taux de reconstitution.

Le taux de régénération (Tr) est calculé en rapportant l'effectif des jeunes tiges à l'effectif total des tiges, multiplié par 100 (Aboubacar et al., 2023) :

$$Tr = \frac{\text{Effectif des jeunes tiges}}{\text{Effectif des tiges du peuplement}} \times 100 ;$$

La densité absolue (D) a été calculée en rapportant le nombre de tiges (N) à la superficie (S) échantillonnée (Olofsson & Olsson, 2017).

$$D = \frac{\text{Nombre de tiges sur la superficie échantillonnée}}{\text{Surface échantillonnée}} ;$$

La densité par famille (D/F) a été déterminée par le rapport entre le nombre de tiges de cette famille et la superficie (S) échantillonnée (Ambombo Onguene, 2018)

$$D/F = \frac{\text{Nombre de tiges de la famille}}{\text{Superficie échantillonnée}} ;$$

La densité relative (DeR) correspond au quotient de la densité d'une famille par la densité totale des familles (Ambombo Onguene, 2018).

$$DeR = \frac{\text{Densité d'une famille}}{\text{Densité totale des familles}} \times 100 ;$$

La diversité relative (DiR) correspond au produit du nombre d'espèces au sein d'une famille par 100, divisé par le nombre total d'espèces échantillonnées (Mikoungui Gomo et al., 2020).

$$DiR = \frac{\text{Nombre d'espèces au sein d'une famille}}{\text{Nombre total d'espèces échantillonnées}} \times 100 ;$$

Le coefficient de mélange a été déterminé par le rapport entre le nombre d'espèces et le nombre total de tiges inventoriées (Marcon, 2025).

$$CM = \frac{\text{Nombre d'espèces}}{\text{Nombre totale de tiges inventoriées}} ;$$

L'indice de Shannon (H') correspond à la valeur négative de la somme des produits de l'abondance relative (Pi) par son logarithme de base 2.

H' = Entropie de Shannon ou Indice de Shannon ou encore diversité spécifique observée

Pi = ni / N : abondance relative

N = effectif total des espèces

ni = effectif des individus de l'espèce

Log₂ = Logarithme de base 2 ;

(-) (le signe moins) : Permet d'obtenir un résultat positif. Les logarithmes de fractions (Pi) étant négatifs, multiplier par (-1) rend l'indice final positif.

{i=1} à (S) : Le symbole de sommation. Il indique qu'il faut additionner les calculs faits pour chaque groupe ou espèce, de la première (i=1) jusqu'à la dernière (S).

$$H' = - \sum_{i=1}^S (P_i) (\log_2 P_i)$$

(S) : La richesse spécifique totale. C'est le nombre total de familles ou de groupes d'espèces présents dans votre échantillon.

L'indice d'équitabilité de Piélou a été calculé en rapportant l'indice de Shannon au logarithme de base 2 de la diversité maximale.

$$E = \frac{H'}{\log_2 S}$$

H' = Entropie de Shannon ou Indice de Shannon ou encore diversité spécifique observée
S = Richesse spécifique (nombre total d'espèces)
Log₂ S = Diversité maximale;

La dominance relative est calculée en divisant la surface terrière d'une famille ou d'une espèce par la surface terrière totale des familles, puis en multipliant le résultat par 100 (Kimpouni, 2017).

$$DoR = \frac{\text{Surface terrière d'une famille ou d'une espèce}}{\text{Surface terrière totale des familles}} \times 100 ;$$

La richesse spécifique des familles par espèces correspond à la somme de la dominance relative, de la diversité relative et de la densité relative, dont l'expression mathématique est la suivante (Kimpouni, 2017) :

$$FIV = DoR + DiR + DeR ;$$

Taux de reconstitution : Le taux de reconstitution est un indicateur du potentiel exploitable à la rotation, basé sur les proportions entre les effectifs à abattre et ceux déjà abattus selon la durée de la rotation (Durrieu & Forni, 1997). Parmi les cinq essences, le Padouk, le Doussié et l'Acajou sont exploitables jusqu'à 80 et 90 cm de diamètre, tandis que le Sipo et le Sapelli le sont à partir de 80 cm. Le taux de reconstitution a été calculé uniquement pour le Padouk et le Sapelli.

$$IR (\%) = [N0. (1 - \Delta). (1 - \alpha)^T / Np] \times 100$$

Avec

$$T = DME - D_{bi} / AAM$$

% Re (t) = taux de reconstitution de tiges initialement exploitables (≥ DME) au temps t ;
N0 = effectif qui aura dépassé 60 cm de diamètre en 30 ans (arbres d'avenir) ;
Np = nombre de tiges de diamètre supérieur à 60 cm ;
σ = taux de mortalité annuelle ;
α = taux de dégâts dû à l'exploitation (10 %) ;
T = temps de passage, soit 30 ans (2012-2042), l'UFA (Ipendja).

Analyse des données : Le logiciel Microsoft Excel 2016 a été utilisé pour calculer les proportions et réaliser des représentations graphiques. Par la suite, les données ont été transférées dans SPSS version 0.2 pour comparer les moyennes à l'aide des tests de Mann-Whitney, de Student et de Kruskal-Wallis, tandis que les proportions ont été comparées avec le test Z.

Résultats

Inventaire systématique

Il a été recensé 941 tiges réparties en 95 espèces et 35 familles, avec une densité de 49,26 tiges/ha. Les *Fabaceae* sont représentées par 108 tiges, principalement *Pterocarpus soyauxii* (Padouk), et les *Meliaceae* par 106 tiges, dont *Entandrophragma cylindricum*. Les familles *Euphorbiaceae* et *Malvaceae* comptent chacune 91 tiges, dont *Macaranga* spp. et *Sterculia dawei*.

En revanche, les *Dracaenaceae*, les *Bignoniaceae* et les *Anacardiaceae* comptent respectivement une, deux et trois espèces, plus rarement rencontrées. La forêt semi-décidue abrite également *Tetracera alnifolia*, ainsi que des *Marantaceae* et *Zingiberaceae*, se développant sur les trouées d'abattage sous les *Macaranga* spp. Une faible régénération des espèces abattues est constatée à 10-15 m de la souche. Cinq espèces d'intérêt ont été relevées : *Entandrophragma cylindricum*, *Entandrophragma utile*, *Khaya anthotheca* (Acajou), *Pterocarpus soyauxii* (Padouk) et *Afzelia bipindensis* (Doussié), inscrites à l'annexe II de la CITES. Les inventaires des zones exploitée et non exploitée sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1: Nombre de tiges en zones exploitée et non exploitée

Espèces	Zone non exploitée n(%)	Zone exploitée n(%)	Significativité	
			χ^2	P
<i>Sapelli</i>	184(68,4%)	50(45,5%)	$\chi^2_{22} \approx 22,89$ ddl = 4 $p \approx 9,488$	$p < 0,05$
<i>Sipo</i>	22(8,2%)	8(7,3%)		
<i>Acajou</i>	9(3,3%)	4(3,6%)		
<i>Padouk</i>	41(15,2%)	41(37,3%)		
<i>Doussié</i>	13(4,8%)	7(6,4%)		

NS : Différence significative $p < 0,05$

La zone non exploitée présente un nombre d'espèces et de spécimens supérieur à la zone exploitée, qui a connu une réduction significative des effectifs de certaines espèces ($\chi^2 = 22,89$; ddl = 4 ; $p < 0,05$). L'analyse factorielle des correspondances (AFC) réalisée sur les effectifs des espèces met également en évidence une structuration nette et statistiquement significative ($\chi^2 = 22,89$; ddl = 4 ; $p < 0,05$) de la composition floristique entre les deux contextes sylvicoles. Cette variation souligne l'impact de l'exploitation sur la biodiversité et soulève des préoccupations quant à la durabilité des ressources forestières. L'étude démontre l'effet mesurable de

l'exploitation sur la distribution et l'abondance des espèces, mettant en avant la nécessité d'une gestion durable des forêts. La comparaison de deux zones seulement conduit à une analyse mathématique qui ne génère qu'un seul axe réel (axe F1). Cet axe exprime 100 % de l'inertie ($\lambda = 0,065$). L'axe F2 n'a pas de réalité mathématique ici, mais pour respecter une représentation visuelle classique en plan, les essences stables sont projetées près du centre.

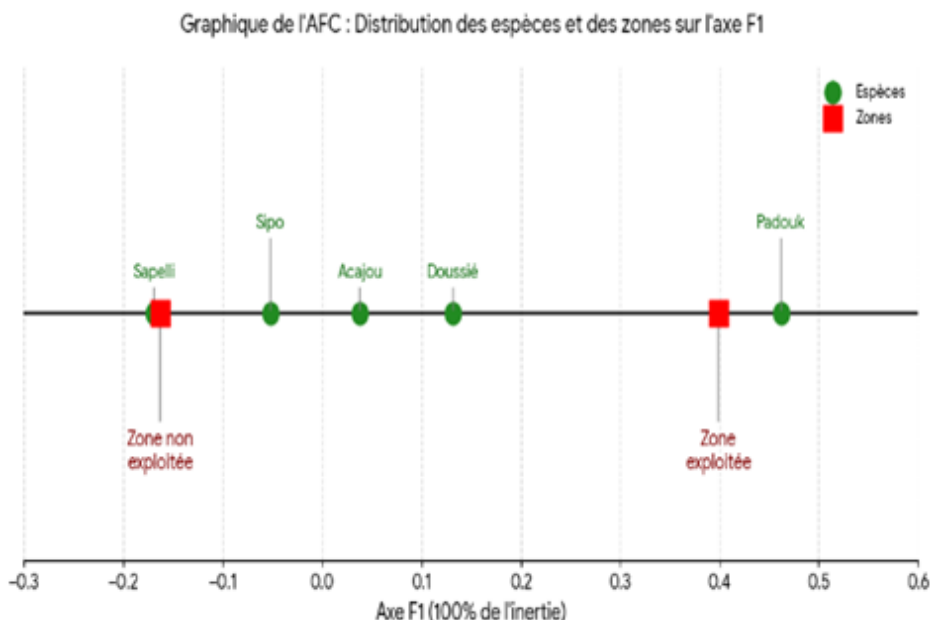


Figure 4: Résumé de l'analyse AFC

La structuration de l'espace factoriel a montré que l'axe F1 absorbe à lui seul 100 % de l'inertie totale du nuage de points. Cet axe traduit exclusivement l'impact de l'exploitation forestière en opposant radicalement la Zone non exploitée (coordonnée négative : -0,16) à la Zone exploitée (coordonnée positive : +0,40).

Le comportement et les affinités des essences se répartissent selon trois pôles : le pôle de conservation, le pôle des essences intermédiaires et le pôle de perturbation.

- le pôle de conservation (Zone non exploitée) : Il est fortement caractérisé par le Sapelli (coordonnée : -0,17) et dans une moindre mesure, par le Sipo (coordonnée : -0,05). La forte attraction du Sapelli vers ce pôle confirme sa grande vulnérabilité face aux activités de prélèvement, matérialisée par une chute drastique de sa représentativité relative passant de 68,4 % à 45,5 % ;
- le pôle de perturbation (Zone exploitée) : Il est massivement dominé par le Padouk (coordonnée : +0,46). Cette position excentrée confirme sa forte dynamique positive post-exploitation, où il profite de

l'ouverture de la canopée pour proliférer : il représente 37,3 % des tiges en zone exploitée, contre seulement 15,2 % en zone non exploitée ;

- le pôle des essences intermédiaires : l'Acajou (+0,04) et le Doussié (+0,13) occupent des positions plus centrales. Leurs profils équilibrés traduisent une distribution relativement proche et stable entre les deux types de peuplements, indiquant une résilience ou une pression de sélection plus modérée à ce stade.

Cette configuration factorielle démontre de manière mesurable l'effet direct de l'exploitation sur l'abondance relative des essences. La régression sévère du Sapelli au profit de l'explosion du Padouk souligne un glissement de la biodiversité qui soulève des préoccupations majeures quant à la durabilité des ressources forestières à long terme. Ces résultats mettent en avant la nécessité d'ajuster les plans d'aménagement (rotations, diamètres de coupe) pour préserver les structures initiales des peuplements.

En faune

La forêt est fortement anthropisée et présente plusieurs pistes de passages de braconniers. Les observations directes ont permis de rencontrer une dizaine de douilles de cartouches de chasse de calibre douze (12), des terriers de pangolins géants, deux groupes de quatre (4) à cinq (5) nids de grands singes à même le sol, réalisés à partir des feuilles de marantacées *Haumania liebrechtsiana* de Wild et Léonard (Bocquet et al., 2020), et plusieurs crottes d'ongulés de taille moyenne (*Cephalophus callipygus*, *Philantomba monticola*, etc.), ainsi que les saisies de l'unité de lutte anti-braconnage de l'UFA Ipendja. Ces données sont présentées dans le Tableau 2 ci-dessous.

Tableau 2: Indices de la pression anthropique des riverains

<i>Objets saisis en 2023 / 2024</i>	<i>Ouverture de</i>	<i>Fermeture de la chasse</i>	<i>Total</i>	<i>Significativité</i>	
				<i>Khi2</i>	<i>p</i>
<i>Munition</i>	23	56 *	79	$\chi^2 = 28,70$	P < 0,05
<i>Armes</i>	02	04 *	06	$ddl = 2$	
<i>Gibiers (kg)</i>	552	376,5 *	928,5	$p \approx 5,87$	

* : Différence significative ($p < 0,05$)

ce tableau provient des inventaires de la faune

Les résultats montrent que le nombre de munitions et d'armes saisies à la fermeture de la chasse est supérieur à celui observé à l'ouverture. En revanche, le poids des gibiers saisis à la fermeture est significativement réduit par rapport à l'ouverture. Une différence hautement significative existe entre les saisies lors de ces deux périodes. De plus, la nature et la quantité des objets saisis varient selon la période de chasse.

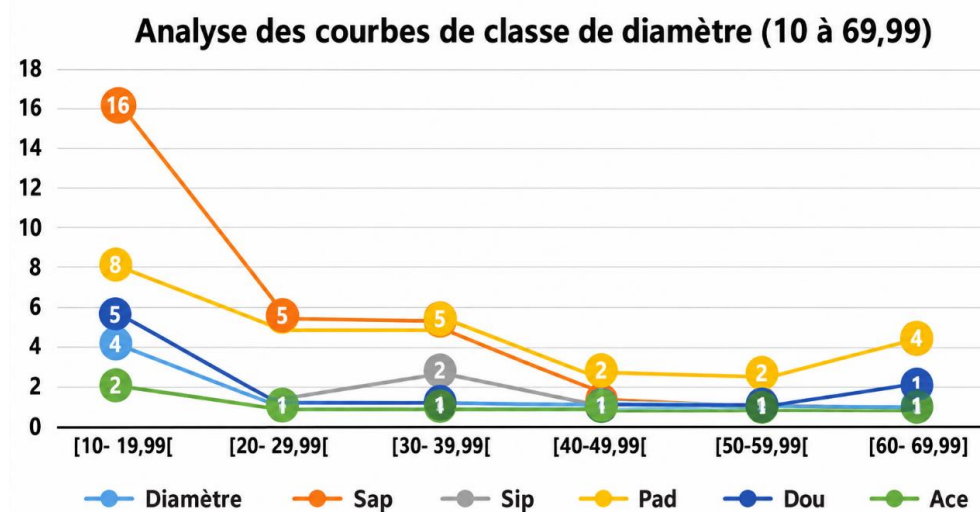
Taux de régénération : ils sont résumés par essence dans le Tableau 1 ci-dessus et leur densité dans le Tableau 3 ci-dessous.

Tableau 3: Taux de régénération par classes de diamètre

Espèces	[10 - 19,99]	[20 - 29,99]	[30 - 39,99]	[40 - 49,99]	[50 - 59,99]	[60 - 69,99]	Significativité	
							Khi ²	P
Sapelli	16	5	4	1	0	1	$\chi^2=13,77$ ddl = 20	0,842
Sipo	5	0	2	0	0	0		
Padouk	8	5	5	2	2	4		
Doussié	4	1	1	0	0	1		
Acajou	2	1	1	0	0	0		

Les résultats indiquent qu'aucune différence significative n'est apparue entre les classes de diamètre des cinq espèces commerciales ($\chi^2 = 13,77$; ddl = 20 ; p = 0,842). Ainsi, on en déduit que le taux de régénération n'est pas corrélé aux diamètres des espèces.

Figure 5: Courbe des effectifs des classes de diamètre



Sap=sapelli, Sip=sipo, Pad=padouk, Dou= doussié Aca= acajou

La Figure 4 a mis en évidence une régénération abondante mais déséquilibrée, dominée par quelques espèces (Sapelli et Padouk). La faible représentation des autres essences augmente le risque de réduction de la diversité spécifique future, d'où la nécessité d'interventions sylvicoles ciblées pour favoriser un équilibre entre essences commerciales.

Densité absolue des espèces inventoriées (D) par classe de diamètre : Aucune différence significative n'a été observée dans la répartition des essences selon les densités absolues dans chaque classe de diamètre, indiquant une structure diamétrique relativement homogène entre les essences (Tableau 4).

Tableau 4: Densités absolues par essence de l'UFA Ipendja

Espèces	[10 - 19,99]	[20 - 29,99]	[30 - 39,99]	[40 - 49,99]	[50 - 59,99]	[60 - 69,99]	Significativité	
							Khi ²	P
Sapelli	0,84	0,26	0,21	0,05	0	0,05	$\chi^2 \approx 4,68$	
Sipo	0,26	0	0,11	0	0	0	ddl = 20	p ≈ 0,999 NS
Padouk	0,42	0,26	0,26	0,11	0,11	0,21		
Doussié	0,21	0,05	0,05	0	0	0,05		
Acajou	0,11	0,05	0,05	0	0	0		

NS : Différence non significative (p < 0,05)

Densité absolue par famille

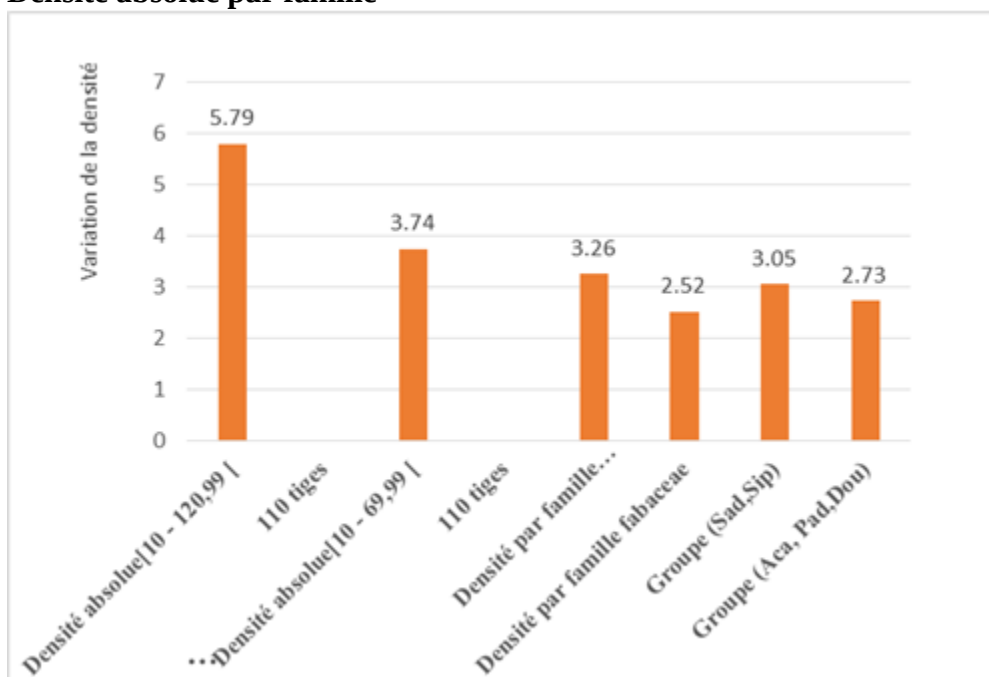


Figure 6: Des densités absolue, par famille des cinq espèces (fabaceae et meliaceae) et par groupe

La Figure 5 montre une forte concentration de tiges au niveau global (5,79), mais cette densité diminue lorsqu'elle est analysée par familles, et tend à s'équilibrer autour de valeurs moyennes d'environ 2,5 à 3,2. Cela indique que l'abondance est principalement due à quelques familles dominantes, tandis que les autres groupes affichent une régénération plus homogène mais modérée.

Différentes densités et dominances relatives : La Figure 7 révèle que la dominance relative des *Fabaceae* (84,29 %) prédomine sur celle des *Meliaceae* (61,96 %), avec une dominance de 15,69 %, bien que ces dernières présentent une densité plus élevée (56,40 %) que les *Fabaceae* (43,59 %). Les groupes spécifiques affichent des valeurs intermédiaires (52,76 % pour le

Sapelli et le Sipo, 47,23 % pour le Padouk, le Doussié et l'Acajou), ce qui indique une distribution équilibrée. En résumé, la figure met en évidence une forte diversité floristique dominée par les *Fabaceae*, avec une densité supérieure chez les *Meliaceae*.

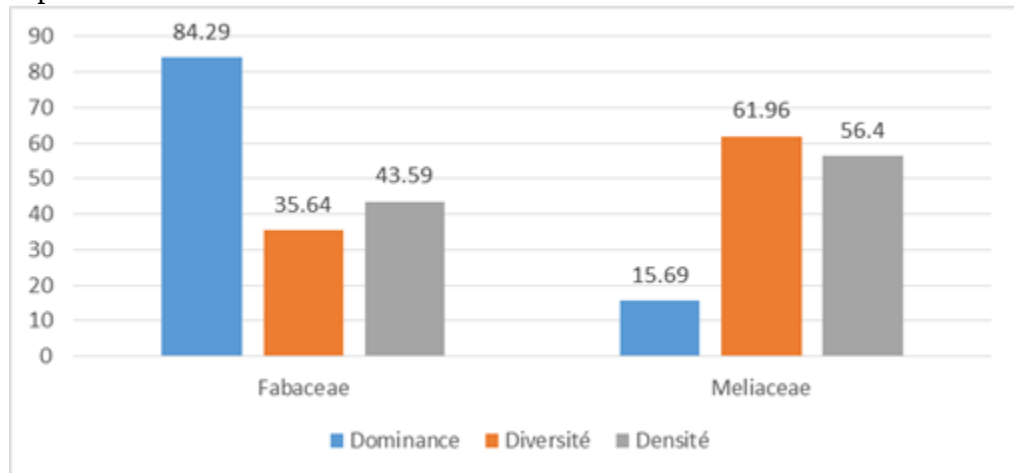


Figure 7: Cette figure provient du regroupement des indices de densités, diversité et dominance tous relatifs

Reconstitution : Le Sapelli est l'espèce la plus représentée, avec 8 individus dans la classe [90-99,99], suivi du Padouk avec 5 individus dans les classes [80-89,99] et [90-99,99]. Les espèces Sipo et Doussié sont très peu représentées, n'ayant qu'un individu chacune dans les classes [70-79,99] et [110-119,99]. En résumé, la distribution montre une forte concentration de Sapelli et Padouk dans les classes moyennes de diamètre, tandis que les autres espèces restent marginales (Figure 8).



Figure 8: Les courbes de répartition en classes de diamètre pour cinq espèces

Taux de reconstitution : le Tableau 5 présente les effectifs et les moyennes avec écart-types pour le Sapelli et le Padouk.

Tableau 5: Effectifs, moyennes associées aux écart-types des cinq essences post exploitation âgée de 6 ans

Espèces	n ($\bar{x} \pm \delta$)	U	Z	r	p-value
Sapelli	46 (57,17±43,38) *	230,0	4,22	0,50	0,000024
Padouk	25 (43,00±33,70)				

NS : Différence significative (**p < 0,001**)

Le test de Mann-Whitney révèle une différence hautement significative et de forte ampleur ($U = 230,0$) ; ($p < 0,001$) ; ($r = 0,50$) entre les taux de reconstitution du Sapelli ($57,17 \pm 43,38$) et du Padouk ($43,00 \pm 33,70$) six ans après l'exploitation.

Le Tableau 6 présente les moyennes et écarts-types des diamètres et du nombre de tiges de Sapelli et de Padouk, six ans après exploitation dans les placettes de l'UFA Ipendja.

Tableau 6: Comparaison des taux de reconstitution du Sapelli et du Padouk pour les durées ($T = 6$ et $T = 30 + \Delta(\text{DME})$ de la croissance / essence

DME	DME +15 cm	DME +13,5 cm	Effectif Exploitable		IR% T= 6 ans		IR% T = 30 ans	
(Sap /Pad)			Sapelli	Padouk	Sapelli	Padouk	Sap+15 Cm	Pad+13,5 cm
T= 6 ans	Sapelli	Padouk	Sapelli	Padouk	Sapelli	Padouk	Sap+15 Cm	Pad+13,5 cm
80	95	93,5	3	5	4,65	24,99	34,89	51,23
90	105	103,5	8	5	9,21	12,76	34,89	35,86
100	115	113,5	3	2	13,68	30,91	22,2	15,37

Tableau 6 (suite). Comparaison des taux de reconstitution du Sapelli et du Padouk pour les durées de T= 60 ans + Δ (DME) et T= 90 ans + Δ (DME) de la croissance/essence

DME (Sap/Pad)	DME + 30 cm	DME +27 cm	Effectif Exploitable	IR% T= 60 ans	IR% T = 90 ans				
T=30 ans	Sap+30 Cm	Pad+27 cm	Sapelli	Padouk	Sapelli	Padouk	Sap+45 cm	Pad+40,5 Cm	Plus rein au DME=80
80	80	87	1	4	73,26	23,93	85	80,5	0
90	90	97	2	2	24,42	23,93	0	90,5	0
100	100	0	0	0	0	0	0	0	0

*T = durée de rotation ; IR % = taux de reconstitution ; Sap = Sapelli ; Pad = Padouk ;
DME = 80 et 90 cm. (DME + 15 cm) = diamètre minimal exploitable plus une croissance de
13,5 cm, de 15 cm, de 40,5 cm, jusqu'à 45 cm*

Dans les UFA aménagées, le taux de reconstitution des espèces prises individuellement est de 30 % et celui des espèces groupées de 50 % (RDC, 2017 ; MEDDEF, 2017). Dans le plan d'aménagement de l'UFA Ipendja, l'IR % du Sapelli (Sap) est de 20 % et celui du Padouk (Pad) de 100 % (MDDEF, 2012).

Les résultats des taux de reconstitution sont consignés dans le tableau ci-après.

Tableau 7: Fréquence, pourcentage des tiges, moyenne et écart-type des diamètres de Sapelli et de Padouk à 6 ans et tous les 30 ans post exploitation dans les placettes de l'UFA Ipendja

<i>Variation de période/ an</i>	<i>Sapelli (n = 21)</i>	<i>Padouk (n = 13)</i>	<i>μ/z/t</i>	<i>P – value</i>
<i>Nombre de tiges</i>	50 (54,95%)	41(45,05%)	1,34	NS
<i>Diamètres à 6 ans</i>	98,57 ± 13,15 *	89,23 ± 9,54	80	0,0401
<i>Diamètres à 30 ans</i>	113,10 ± 13,27 **	102,73 ± 9,54	2,64	0,0128
<i>IR (%) à 6 ans</i>	14,93 ± 9,91	21,46 ± 7,84	82,00	NS
<i>IR (%) à 30 ans</i>	23,26 ± 13,91	36,26 ± 15,74 *	46	0,0011
<i>Variable de période/ an</i>	<i>Sapelli (n = 3)</i>	<i>Padouk (n = 6)</i>	<i>μ/z/t</i>	<i>P – value</i>
<i>Nombre de tiges</i>	29(48,84%)	28(51,16%)	1,96	Différence Significative.
<i>Diamètre à 60 ans</i>	90 ± 10	92 ± 7,07	2	
	48,84% ±	23,93% ± 0%	0,75	
<i>IR (%) à 60 ans</i>	34,55%		2	
<i>IR (%) à 90 ans</i>	<i>L'application de la formule Dierrieu et Forni donne zéro ou NS : Différence non significative</i>			
<i>* : Différence significative p < 0,05</i>		<i>Ce tableau provient de l'analyse du tableau dessus</i>		
<i>* : Différence significative (p < 0,01)</i>				

*IR : Indice de reconstitution
Ce tableau provient de l'analyse du tableau dessus*

Les résultats indiquent qu'à six ans après exploitation, il n'y a pas de différence dans le nombre de tiges entre le Sapelli et le Padouk, mais le Sapelli présente des diamètres significativement plus élevés ($p < 0,05$). À 30 ans, le Sapelli continue d'avoir un diamètre supérieur ($p < 0,01$), tandis que l'indice de reconstitution (IR%) du Padouk est plus élevé à 30 ans. À 60 ans, une différence significative persiste ($p < 0,05$), mais les résultats deviennent nuls à 90 ans. Ces observations soulignent l'importance de la croissance en diamètre et de la capacité de régénération pour évaluer la durabilité des essences en exploitation forestière.

Discussion

L'objectif de cette étude est d'évaluer la régénération naturelle et la reconstitution de cinq essences commerciales dans l'UFA Ipendja, au nord du Congo, exploitée par Thanry-CONGO. L'hypothèse postule que la régénération des essences varie selon les espèces et que le taux de reconstitution diffère significativement entre les zones exploitées et non exploitées sur 19 ha, indiquant l'impact de l'exploitation forestière sur la dynamique de régénération des forêts. L'étude comprend un inventaire systématique et des analyses des indices d'importance écologique et de reconstitution, fournissant des données quantitatives fiables sur la structure et la dynamique des essences pour une évaluation objective de l'impact de l'exploitation (Eba'a Atyi et al., 2021).

Richesse spécifique et potentiel de régénération du peuplement

Le massif forestier étudié présente une diversité floristique globalement préservée et une fragmentation taxonomique élevée, malgré une baisse drastique de sa densité structurale globale. La forte régularité de la fréquence spécifique (égale à un) prouve que l'écosystème n'a pas subi d'homogénéisation par le vide. L'exploitation forestière de 2018 a sélectivement prélevé les tiges marchandes de fort diamètre ; ce qui explique la faible densité résiduelle à l'hectare. Cependant, ce prélèvement ciblé n'a pas annihilé le stock des espèces compagnes ni la biodiversité globale du sous-bois, ni encore moins le potentiel de résilience de la forêt. Cette situation s'accorde avec les observations historiques de Schnell (1970) sur la mosaïque des forêts denses humides, où la richesse en genres et en espèces reste diffuse mais résiliente. Plus récemment, Doucet (2004) et Gourlet-Fleury *et al.* (2013) ont démontré que l'exploitation sélective en Afrique centrale modifie temporairement la structure des diamètres (densité des gros arbres) sans pour autant provoquer un effondrement immédiat de la richesse spécifique globale, à condition que les dégâts d'abattage soient contrôlés.

Persistance des essences commerciales (*Fabaceae* et *Meliaceae*) et dynamique de résilience

Les familles des *Fabaceae* et des *Meliaceae* demeurent les piliers structurels du peuplement. L'abondance persistante du Padouk (*Pterocarpus soyauxii*) et du Sapelli (*Entandrophragma cylindricum*) indique que la valeur économique et écologique de cette forêt n'est pas définitivement compromise après la coupe.

Les *Fabaceae* bénéficient d'un avantage physiologique majeur, en l'occurrence la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique. Ce mécanisme leur permet de coloniser efficacement les sols perturbés et compactés par les engins de débardage. Concernant les *Meliaceae*, leur forte représentation post-exploitation s'explique par une stratégie de reproduction efficace (dispersion anémochore des graines par le vent) et par le maintien probable de semenciers (arbres porteurs de graines sous le diamètre minimum d'exploitation) lors des coupes de 2018.

Ce constat corrobore les travaux de Koubouana *et al.* (2016) et de Forni *et al.* (1997) dans le Bassin du Congo. Ces chercheurs soulignent que les *Fabaceae* dominent presque toujours les classements d'importance écologique dans les forêts denses d'Afrique centrale. De plus, Hall *et al.* (2003) confirment que le genre *Entandrophragma* possède une dynamique de régénération naturelle robuste en zone perturbée, validant le fait que ces essences commerciales clés peuvent tolérer un certain niveau de perturbation anthropique.

Secondarisation floristique et prolifération des espèces pionnières (*Euphorbiaceae* et *Malvaceae*)

Le tissu forestier est entré dans une phase active de cicatrisation et de transition secondaire, marquée par une modification profonde de la composition sociologique végétale au profit d'espèces opportunistes.

L'ouverture de la canopée en 2018 a brutalement rompu l'ombrage continu de la forêt primaire. L'augmentation du rayonnement lumineux direct au sol et la hausse de la température de surface ont levé la dormance des graines photoblastiques positives présentes dans la banque du sol. Des essences héliophiles strictes et à croissance rapide, telles que *Macaranga spp.* (*Euphorbiaceae*) et *Sterculia dawei* (*Malvaceae*), ont profité de ces trouées de lumière pour saturer l'espace libéré par l'exploitation.

Ce phénomène de vagues de colonisation est parfaitement décrit par Hawthorne (1995) et de Namur (1993), qui définissent le genre *Macaranga* comme le bio-indicateur universel de la dégradation des forêts africaines. Les auteurs contemporains comme Morin-Rivat *et al.* (2017) s'accordent à dire que l'abondance conjointe des *Euphorbiaceae* et des *Malvaceae* (anciennement *Sterculiaceae*) caractérise la signature écologique typique d'une forêt en phase

de succession secondaire post-exploitation, évoluant lentement vers un stade de forêt mature. Ces résultats s'expliquent par la bonne santé de la forêt, qui présente une grande diversité d'espèces (Xavier, 2024).

En revanche, les Dracaenaceae (*Dracaena arborea* Willd.), les Bignoniaceae et les Anacardiaceae comptent respectivement une, deux et trois espèces, moins fréquentes. Dans cette forêt semi-décidue, on observe la liane *Tetracera alnifolia* ainsi que des *Marantaceae* et *Zingiberaceae* rares, se développant sur les trouées d'abattage et les pistes de débardage, sous des *Macaranga* spp. de 10 à 60 cm de diamètre, dont certains commencent à se dessécher. La régénération d'espèces abattues est faible à une distance de 10 à 15 m de la souche, probablement en raison de la compétition pour la croissance. La classe de diamètre de 180 à 20 cm montre une forte régression, comme indiqué dans le plan d'aménagement de l'UFA Ipendja, (MDDEF, 2012). Cette régression dans les classes de diamètre les plus jeunes indique une dynamique de compétition intense, pouvant modifier la structure et la composition future du peuplement forestier. Cette dynamique est corroborée par les travaux de Bühler et al. (2014).

L'analyse comparative entre la zone exploitée et la zone non exploitée met en évidence des variations significatives des effectifs selon les espèces, soulignant l'impact de l'exploitation sur la régénération forestière. La zone non exploitée présente un plus grand nombre d'espèces, tandis que la zone exploitée montre une diminution notable des effectifs pour certaines espèces : Sapelli (184 vs 50), Sipo (22 vs 8), Acajou (9 vs 4), Padouk (41 vs 41) et Doussié (13 vs 7). Ces résultats indiquent un impact négatif sur la biodiversité, soulevant des préoccupations concernant la durabilité de l'exploitation forestière, d'où la nécessité de revoir les pratiques en faveur d'une gestion durable (Bühler et al., 2014) pour assurer la pérennité des ressources.

Structure diamétrique globale et dynamique d'indépendance des essences

L'organisation des effectifs d'arbres par classes de dimensions suit une trajectoire structurelle homogène et globalement similaire, quelle que soit l'essence forestière considérée. L'indépendance statistique validée démontre que le peuplement résiduel conserve un profil de répartition partagé, bien que des fluctuations locales spécifiques s'amorcent pour les essences phares du commerce (Padouk, Sapelli, Sipo).

Cette absence de différence structurelle globale s'explique par le caractère récent de l'exploitation forestière. Le prélèvement a touché de manière transversale les arbres de taille exploitable toutes essences confondues, sans altérer radicalement la répartition globale par taille des arbres restants. Les légers écarts observés pour le Padouk et le Sapelli dans les dimensions intermédiaires et supérieures indiquent le maintien d'un stock de semenciers ou d'individus juste en dessous du diamètre minimum

d'exploitation. À l'inverse, les variations notées chez le Sipo dans les petites dimensions révèlent un sursaut de régénération naturelle, favorisé par la libération d'espace et les trouées de lumière créées lors des coupes.

Cette homogénéité structurelle post-perturbation rejoint les théories de Rollet (1974) sur la distribution des diamètres en forêt dense humide, qui suit classiquement une courbe en « J inversé » partagée par l'ensemble des espèces compagnes. Le maintien d'individus matures de Padouk et de Sapelli après exploitation est également documenté par Gourlet-Fleury *et al.* (2013). Ces auteurs rappellent que la réglementation forestière moderne en Afrique centrale impose des diamètres de coupe stricts ; ce qui préserve artificiellement une structure diamétrique minimale stable d'une espèce à l'autre. Enfin, la présence marquée de jeunes Sipo en sous-bois confirme les conclusions de Doucet (2004), qui qualifie les *Meliaceae* d'essences capables de maintenir une dynamique de recrutement efficace dans les petites classes de taille à la suite de perturbations modérées du milieu.

Ces écarts structurels (ou diamétriques) et écologiques (ou de composition) s'expliquent par des variations environnementales affectant l'accroissement des arbres et l'absence de cernes pendant des périodes de croissance très rapide ou lente (Durrieu de Madron *et al.*, 2000). D'après ces auteurs, d'autres facteurs, comme la densité du peuplement et les techniques de récolte, peuvent également influencer la répartition des diamètres. Toutefois, ces variations restent faibles et ne modifient pas la conclusion globale. La classe de diamètre (10 à 29,99) cm présente plusieurs tiges dont les effectifs tendent à régresser.

Dynamique et distorsion de la régénération naturelle du peuplement

La reconstitution de la strate inférieure du peuplement est quantitativement assurée, mais elle souffre d'un fort déséquilibre sociologique. Le renouvellement de la biodiversité forestière se concentre au profit d'un noyau restreint d'essences commerciales phares, au détriment d'une expression homogène de la richesse spécifique initiale.

Ce déséquilibre s'explique par la conjonction de deux facteurs écologiques majeurs consécutifs à l'exploitation de 2018. D'une part, le Sapelli et le Padouk disposent d'une efficacité de dispersion et d'une agressivité germinative supérieures, stimulées par l'ouverture de la canopée et la perturbation de la litière au sol. D'autre part, le maintien de semenciers matures de ces mêmes essences (observé dans les grandes classes de diamètre) a saturé la banque de graines locale. Les trouées de lumière ont agi comme un accélérateur de croissance pour ces deux essences, étouffant ainsi les semis d'espèces compagnes plus tolérantes à l'ombre ou à croissance plus lente, ce qui rompt l'équilibre de la strate de régénération.

Cette dynamique de régénération sélective et asymétrique valide les observations de Riéra *et al.* (1990) et de Hawthorne (1995) sur le comportement des essences commerciales en zone de perturbation. Ces auteurs soulignent que le Sapelli et le Padouk se comportent fréquemment comme des essences nomades ou pionnières à croissance rapide dès que l'éclairement au sol augmente. Par ailleurs, Gourlet-Fleury et Laroussinie (2004) confirment que la régénération post-exploitation en Afrique centrale est rarement équilibrée ; elle favorise systématiquement les espèces opportunistes dont les semenciers ont été préservés, créant ainsi des vagues de dominance locale qui modifient temporairement la trajectoire floristique future du massif forestier.

N'Dah Kouadio *et al.* (2020) rapportent des résultats similaires, identifiant une flore riche de 43 espèces appartenant à 26 familles lors de l'évaluation du potentiel de régénération naturelle. Ils ont observé des espèces avec un pourcentage de régénération fort et moyen, utilisées pour la fertilisation du sol, la pharmacopée et l'alimentation, tandis que des espèces ayant un pourcentage de régénération faible servent d'ombrage aux jeunes cacaoyers et à la fourniture en bois d'œuvre. La faible représentation d'autres essences augmente le risque de réduction de la diversité spécifique future, d'où la nécessité d'interventions sylvicoles ciblées pour favoriser un équilibre entre essences commerciales.

Homogénéité structurale globale et dilution de la densité par entités taxonomiques

Le peuplement forestier conserve une uniformité architecturale remarquable à l'échelle globale. L'indépendance statistique stricte confirme que les trajectoires de croissance spatiale et dimensionnelle restent partagées entre toutes les essences. Néanmoins, cette apparente saturation globale masque une réalité écologique interne plus contrastée : la forte concentration d'arbres observée au niveau macroscopique se dilue et s'équilibre dès que l'analyse descend à l'échelle des familles botaniques.

L'homogénéité de la structure en diamètre s'explique par le fait que les forces environnementales et sylvicoles (notamment les perturbations issues de l'exploitation forestière) ont affecté le milieu de manière uniforme, dictant une distribution des tailles similaire pour toutes les espèces compagnes. Cependant, la forte densité globale observée est le produit d'un effet d'accumulation mathématique et écologique de toutes les tiges présentes sur les parcelles. Lorsqu'on ventile cette donnée par famille, cet effet de masse s'estompe. On observe alors une régulation naturelle de l'espace vital, où chaque groupe taxonomique s'équilibre autour de valeurs moyennes modestes en raison de la compétition interspécifique pour les ressources (lumière, nutriments du sol et eau).

Ce phénomène de régulation et d'homogénéité structurale rejoint les principes fondamentaux d'organisation des forêts tropicales décrits par Rollet (1974), qui a démontré que la distribution globale en « J inversé » reste inchangée malgré la diversité des familles présentes. De même, Gourlet-Fleury *et al.* (2013) soulignent que si la densité globale d'une forêt perturbée peut paraître artificiellement élevée en raison de la prolifération de jeunes tiges, l'analyse par groupe taxonomique révèle un équilibre dynamique dicté par la capacité de charge de l'écosystème. Les travaux de Koubouana *et al.* (2016) confirment également que dans le Bassin du Congo, la décomposition de la densité par famille permet d'annuler les effets de dominance locale pour révéler la véritable structure d'équilibre d'une forêt en mutation.

Cela indique que l'abondance est dominée par quelques familles, tandis que les autres groupes présentent une régénération plus homogène mais modérée, due à la dynamique de compétition et aux pratiques de gestion forestière (Buard, 2013). En ce qui concerne la diversité relative, les *Fabaceae* (84,29 %) dominent largement, suivies par les *Meliaceae* (61,96 %). Cela souligne leur dominance écologique et leur importance structurale au sein du peuplement, témoignant de leur adaptation aux conditions locales et de leur rôle clé dans la dynamique forestière (Honvou *et al.*, 2021). Cette forte représentativité est liée à leur adaptation au climat de la zone (Missa *et al.*, 2023).

En revanche, les dominances relatives sont faibles, notamment celle des *Meliaceae* (15,69 %), indiquant qu'elles n'ont pas une forte prépondérance dans la composition structurale (Figure 5). En termes de densité, les *Meliaceae* atteignent 56,40 %, contre 43,59 % pour les *Fabaceae*. Cette forte densité des *Meliaceae* s'explique par leur nombre plus élevé dans l'échantillon (N'Guessan *et al.*, 2022). Les groupes spécifiques montrent des valeurs intermédiaires (52,76 % pour le Sapelli et le Sipo, 47,23 % pour le Padouk, le Doussié et l'Acajou), traduisant une distribution relativement équilibrée. En somme, la Figure 3 révèle une forte diversité floristique dominée par les *Fabaceae*, tandis que la densité est plus marquée chez les *Meliaceae*, communes dans les forêts tropicales d'Afrique. Ces familles sont parmi les plus fréquentes et dominantes à l'est du Cameroun (Kamga *et al.*, 2018).

Structure des grands diamètres et distribution des essences commerciales majeures

Les classes de diamètres supérieures révèlent un net clivage au sein des essences de forte valeur commerciale. D'un côté, le Sapelli et le Padouk affichent une excellente résilience démographique dans la strate supérieure du peuplement. De l'autre, le Sipo et le Doussié se trouvent dans un état de raréfaction critique parmi les individus matures, frôlant une rupture de stock technique.

Cette divergence s'explique directement par l'historique d'exploitation sélective subi par le massif. Le Sapelli et le Padouk, bien que fortement exploités, ont conservé un contingent significatif de semenciers matures juste en deçà ou au-delà des diamètres limites, ce qui témoigne d'un prélèvement raisonné ou de structures de population initialement très denses. À l'inverse, la quasi-absence du Sipo et du Doussié dans ces classes de taille supérieure indique que ces essences ont subi une pression de coupe maximale lors des rotations précédentes, ou qu'elles souffrent chroniquement d'un faible taux de survie des individus lors de leur transition vers la maturité écologique.

Ce constat corrobore les conclusions de Gourlet-Fleury *et al.* (2013) en Afrique centrale, qui mettent en garde contre l'épuisement progressif des essences de premier ordre comme le Doussié (*Afzelia spp.*) et le Sipo (*Entandrophragma utile*) sous l'effet de coupes répétées. De plus, Doucet (2004) et Forni *et al.* (1997) rappellent que la structure des populations de *Meliaceae* varie fortement d'une espèce à l'autre : le Sapelli maintient souvent une structure stable avec des adultes préservés, tandis que le Sipo présente fréquemment des déficits chroniques dans les classes mûres à la suite d'une exploitation anthropique. Ce phénomène valide l'urgence de réviser les diamètres minimaux d'exploitation (DME) pour les essences hautement vulnérables comme le Doussié.

Globalement, la distribution indique une forte concentration des individus de Sapelli et de Padouk dans les classes moyennes de diamètre, tandis que les autres espèces sont marginales. Cette forte concentration des individus de Sapelli et Padouk reflète une dominance écologique marquée de ces deux essences dans la structure diamétrique de la population étudiée (Kouadio *et al.*, 2020; Minko *et al.*, 2021).

Cette tendance à la dominance se nuance toutefois à l'analyse statistique des données du Tableau n°5, qui montre que les cinq essences étudiées présentent des valeurs globalement comparables sur le plan statistique, indiquant un certain équilibre dans la répartition des effectifs. Les résultats obtenus montrent qu'aucune différence n'apparaît entre le nombre de tiges des deux essences (Sapelli et Padouk) à six ans suivant le début de l'exploitation de l'UFA Ipendja. Ces résultats laissent apparaître qu'à court terme (six ans), la structure quantitative de la population de Sapelli et Padouk reste équilibrée, ce qui est un indicateur positif pour la durabilité de leur exploitation, même si un suivi à plus long terme est nécessaire pour confirmer cette tendance. Des études ont souligné l'importance d'une gestion durable pour la pérennité des essences forestières (Huck & Niedzwiedz, 2013).

Potentiel de reconstitution à long terme et durabilité des rotations

La capacité de récupération technique du peuplement est inversement proportionnelle à la taille des arbres ciblés, révélant une vulnérabilité de

reconstitution sur les très gros diamètres. Le Sapelli démontre une excellente aptitude de récupération conforme aux exigences de durabilité légales dès les cycles courts, alors que le Padouk, bien que performant à long terme, accuse un retard par rapport aux objectifs théoriques maximaux fixés par les plans d'aménagement.

La diminution du taux de reconstitution avec l'augmentation des diamètres s'explique par la lenteur intrinsèque des processus de transition des arbres des classes moyennes vers les classes exploitables matures. Le Sapelli bénéficie d'une cinétique de recrutement efficace dans les seuils réglementaires grâce à sa résilience structurelle post-perturbation. En revanche, le Padouk subit une inertie de croissance ou un déficit de tiges de tailles intermédiaires qui freine sa capacité à atteindre une reconstitution complète à long terme, malgré sa bonne dynamique globale.

Cette divergence d'ajustement aux plans de gestion confirme les limites des modélisations uniformes souvent dénoncées par Gourlet-Fleury et Laroussinie (2004). Par ailleurs, la comparaison avec les modèles matriciels développés en République Démocratique du Congo met en lumière la performance relative supérieure du présent massif, un phénomène que des auteurs comme Toirambe (2010) attribuent à la variabilité de la qualité stationnelle et à l'hétérogénéité de l'intensité des prélèvements initiaux selon les concessions forestières.

Divergences de croissance diamétrique post-exploitation et déterminisme environnemental

À effectif égal, le Sapelli surpasse significativement le Padouk en termes de vitesse de croissance en épaisseur, et ce, dès les premières années suivant l'exploitation jusqu'aux horizons temporels lointains. Cette supériorité consacre le Sapelli comme une essence à forte réactivité cambiale post-perturbation par rapport au Padouk.

Bien que les deux essences maintiennent des densités de tiges comparables dans l'UFA Ipendja, le Sapelli exploite plus efficacement les modifications microclimatiques induites par l'exploitation forestière. L'ouverture de la canopée engendre une hausse de l'ensoleillement direct et des fluctuations thermiques au sol. Le Sapelli possède un tempérament écologique qui lui permet de convertir ce surcroît d'énergie lumineuse et de chaleur en croissance diamétrique rapide, tandis que le Padouk montre une réponse végétative plus modérée, restant plus dépendant de la stabilité des précipitations et de la disponibilité en nutriments du sol.

Ce déterminisme environnemental rejoint les conclusions de Fétéké *et al.* (2016), qui identifient la température et le rayonnement solaire comme les moteurs majeurs de la reprise de croissance chez les *Meliaceae* d'Afrique centrale. De même, ces observations s'alignent sur les théories de Kasekete

(2024), qui stipulent que la variabilité de croissance interspécifique dans les forêts tropicales s'explique par l'interaction complexe entre le patrimoine génétique des essences et les facteurs abiotiques stationnels, confirmant que le Sapelli tire un meilleur parti des niches écologiques créées par l'action anthropique que le Padouk.

Par contre, les indices de reconstitution (IR%) post-exploitation du Sapelli et du Padouk à 6 ans sont statistiquement similaires ($p = 0,052$, Tableau n°7), une différence non significative également notée par Picard & Gourlet-Fleury (2008). En revanche, à 30 ans après l'exploitation, l'IR% du Padouk est significativement plus élevé que celui du Sapelli ($36,26 \pm 15,74\%$ vs $23,26 \pm 13,91\%$, $\mu = 46$, $p = 0,0011$, Tableau n°7). Ce phénomène, qui ne dépend pas du DME ni de la variation diamétrique (13,5 cm pour le Padouk contre 15 cm pour le Sapelli ; Castadot et al., 2022), pourrait être attribué à des facteurs écologiques, physiologiques, génétiques et environnementaux. Ces résultats soulignent l'importance d'évaluer non seulement la croissance en diamètre, mais aussi la capacité de régénération des essences pour leur durabilité en contexte d'exploitation forestière.

En résumé, bien que le Sapelli présente des diamètres significativement supérieurs à 6 et 30 ans, son taux de reconstitution est inférieur à celui du Padouk à 30 ans, suggérant une gestion différenciée pour optimiser la régénération des deux essences. À 60 ans, malgré des diamètres similaires, le potentiel de reconstitution est inversé en faveur du Sapelli, tandis qu'à 90 ans, une approche méthodologique robuste est requise. Ces résultats soulignent l'importance d'adapter les pratiques de gestion forestière aux caractéristiques spécifiques de chaque espèce pour garantir leur durabilité et leur succès à long terme.

Conclusion

Cette étude a évalué la reconstitution de cinq essences commerciales dans l'UFA Ipendja, au nord du Congo. L'hypothèse selon laquelle le taux de reconstitution varie entre les espèces et entre les zones exploitées et non exploitées a été confirmée, soulignant l'impact de l'exploitation forestière sur la régénération. Les résultats indiquent que l'exploitation réduit la densité et la diversité spécifique, avec un impact notable sur le Sapelli. En revanche, le Padouk présente une meilleure reconstitution à long terme, tandis que le Sapelli montre une croissance diamétrique supérieure. Une gestion sylvicole durable est donc essentielle pour préserver la diversité et promouvoir la régénération des essences exploitées. Des recherches supplémentaires et des stratégies ciblées sont également nécessaires pour garantir la durabilité et la résilience des forêts face aux pressions humaines.

Contributions des auteurs : MANGONGA Paul Patrick a participé à la collecte et au traitement des données floristiques. Aristide EWAMELA et Pierre MBETE ont assuré la supervision scientifique. Le manuscrit a été rédigé par MANGONGA Paul Patrick, tandis qu'Aristide EWAMELA et Pierre MBETE ont apporté des lectures et des amendements.

Remerciements : Nos remerciements vont aux chefs d'équipes d'inventaire botanique et à leurs membres, qui ont participé à la collecte des données floristiques sur le terrain.

Conflit d'intérêts : Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

Disponibilité des données : Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

Déclaration de financement : Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

References:

1. Aboubacar, A., Baggian, I., Laouali, A. & Dan Guimbo, I. (2023). Caractéristiques de la Régénération Naturelle de la Végétation Contractée des Plateaux de l'Ouest du Niger Suivant les Gradients Pluviométrique et d'Anthropisation. *European Scientific Journal*, ESJ, 19 (30), 74. <https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n30p74>. Consulté le 26 octobre 2025 à 18h48.
2. Ambombo Onguene, E. M., Ngondo Milingui, J. B., Pial, A. C., Mbarga Bindzi, A., & Mossebo, D. C. (2018). Dynamique de la régénération naturelle des essences commerciales sur les routes secondaires de différents âges de l'UFA 09-003 (Djoum, Cameroun). *Int. Biol. Chem. Sci.* 12(1), 341-352. <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v12i1.27> Consulté le 12 janvier 2023 à 18h18.
3. Arrêté ministériel n°034/CAB/MIN/EDD/03/03/BLN du 3 juillet 2014 portant procédure d'élaboration et de suivi des plans d'aménagement des concessions forestières de production de bois d'œuvre en République Démocratique du Congo.
4. Arrêté n°4432 / MDDEFE / CAB., du 24 mars 2011 définissant l'Unité Forestière d'Aménage.
5. Association Technique Internationale des Bois Tropicaux (2007). Étude sur le plan pratique d'aménagement des forêts naturelles de production tropicales africaines : Application au cas de l'Afrique

- Centrale Volet 1 « Production Forestière » Paris : ATIBT. 138 pages. <https://www.atibt.com>. Consulté le 10 octobre 2025 à 8h35.
6. Bajon, T., Mensah-Sacky, A., Giezendanner, H., Currie, M., & Coulibaly, M. (2024). Aperçu de la gestion des armes et munitions en Afrique. Rapport UNIDIR sur l'état d'avancement 2024. <https://www.unidir.org> Consulté le 26 octobre 2025 à 11h47.
 7. Bocquet, E., Maniacky, J., Vermeulen, C., & Malaisse, F., (2020). À propos de quelques chenilles consommées par les Mongo en Province de l'Équateur (République démocratique du Congo). *Geo-Eco-Trop*, 44 (1) : 109-130. http://www.geoe-cotrop.be/uploads/publications/pub_441_06.pdf. Consulté le 30 octobre 2025 à 14h23.
 8. Buard, E., (2013). *Dynamiques des interactions espèces - espace - Mise en relation des pratiques de déplacement des populations d'herbivores et de l'évolution de l'occupation du sol dans le parc de Hwange (Zimbabwe)*. Thèse de doctorat en géographie. Université Panthéon-Sorbonne - Paris I. <https://theses.hal.science/tel-00806834v2>. Consulté le 20 octobre 2025 à 19h09.
 9. Bühler, A., Demenois, J., Doucet, J.L., Federspiel, M., Petrucci, Y., Pelé, V., & Sepulchre, F., (2014) - Etudes sur le plan pratique de l'aménagement des forêts naturelles de production tropicales africaines - Volet 4 « Gestion Durable et préconisations en vue de la certification ». ATIBT-FFEM. Impribeau - Sainte-Ode (Belgique). 163 pages. <http://www.impribeau.be>. Consulté le 18 octobre 2025 à 18h59.
 10. CAFI (2019). *Lettre d'intention entre l'Initiative pour la forêt de l'Afrique centrale et la République du Congo*. [En ligne] disponible sur le site officiel de la Central African Forest Initiative (CAFI).
 11. Castadot, B., Jobbe-Duval, B., Bénédet, F., Cornu, G., Forni E., Freycon, V., Gourlet-Fleury, S., Rossi, V., Doucet, L., J., Fayolle, A., Ligot, G., Bracke, C., Daïnou, K., & Monthe, F. (2022) Dynamique des forêts d'Afrique centrale pour une amélioration de la durabilité des plans d'aménagement forestiers, capitalisation des projets DYNAFFOR et P3FAC. 76 pages. <https://www.dynafac.org/fr>. Consulté le 22 octobre 2025 à 17h26.
 12. Chabi-Boni, D. S., Nago, S. G. A., M'Mouyohoun, K. & Natta, A. K. (2024). Diminution des paramètres de diversité et d'abondance du gibier avec l'isolement des territoires de chasse des réserves de faune au Bénin. *Actes des XX^{èmes} Journées Scientifiques Internationales de Lomé* (République du Togo) sous le thème : Recherche et innovations au service de la transformation structurelle et du développement des pays Africains. Lomé du 7 au 11 octobre 2024, pp. 105-122.

13. De Wasseige, C., Tadoum, M., Eba'a Atyi, R., & Doumenge, C. (2015). Les forêts du Bassin du Congo - Forêts et changements climatiques. Neufchâteau : Weyrich, 127 pages. ISBN 978-2-87489-356-8 <https://www.observatoire-comifac.net/publications/edf/2015>. Consulté le 30 octobre 2025 à 16h00.
14. Douh, C. (2018). *Rôle de la banque de graines du sol dans la régénération des forêts denses humides d'Afrique centrale*. Thèse en sciences agronomiques et ingénierie biologique. Université de Liège – Gembloux. République de Belgique.
15. Durrieu de Madron, L. & Forni, E. (1997). Aménagement Forestier dans l'Est du Cameroun, structure du peuplement et périodicité d'exploitation. CIRAD YAOUNDE BP 2572., Bois et Forêts des Tropiques, n° 254, 39-5. 50 pages.
16. Durrieu de Madron, L., Nasi, R., & Détienne, P. (2000). Accroissements diamétriques de quelques essences en forêt dense d'Afrique. Bois et Forêts des Tropiques, 1(263), 63-73.
17. Durrieu de Madron, L., Nasi, R., & Détienne, P. (2000). Accroissements diamétriques de quelques essences en forêt dense africaine. *Bois et Forêts des Tropiques*, 263(263), 63-74. <https://doi.org/10.19182/bft2000.263.a20062>
18. Eba'a Atyi, R., Hiol Hiol, F., Lescuyer, G., Mayaux, P., Defourny, P., Bayol, N., Saracco, F., Pokem, D., Sufo Kankeu, & Nasi, R. (2021). The Forests of the Congo. Basin State of the Forests 2021. Bogor, Indonesia: CIFOR. <https://doi.org/10.17528/cifor/008700>. Consulté le 5 juillet 2025 à 10h21.
19. Eba'a Atyi, R., Auteur, B., & Auteur, C. (2021). *Titre du rapport*. Nom de l'institution. URL ou DOI
20. FAO (2020). *Évaluation des ressources forestières mondiales 2020 : Rapport principal*. Rome.
21. Fétéké, F., Fayolle, A., Daïnou, K., Bourland, N., Dié, A., Lejeune, P., Tagg, N., Haurez, B., Gillet, J.-F., & Doucet, J.-L. (2016). Variations saisonnières de la croissance diamétrique et des phénologies foliaire et reproductive de trois espèces ligneuses commerciales d'Afrique centrale. *Bois et Forêts des Tropiques*, 330 : 3-21. <https://doi.org/10.19182/bft2016.330.a31315> Consulté le 30 octobre 2025 à 14 h 50.
22. Gestion Forestière 351 Institut de la recherche agricole pour le développement. Programme Forêt et bois. BP 2067, Yaoundé Cameroun. Ministère des Forêts et de la Faune Direction des forêts. 46 pages.
23. Honvou, S. H. S., Aboh, B. A., Sewade, C., Teka, O., Gandonou, B. C., Oumorou, M., & Sinsin, B. (2021). Diversité floristique, structure

- et distribution des groupements végétaux des parcours d'accueil des transhumants dans la Basse et Moyenne Vallée de l'Ouémé au Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 15(1), 81-96, <http://www.ifgdg.org>. Consulté le 29 octobre 2025 à 15 h 41.
24. <https://doi.org/10.19182/bft2019.342.a31816>. Consulté le 10 août 2025 à 17h35.
25. Huck, M. & Niedzwiedz, A. (2013). De la définition et l'usage des indicateurs de gestion durable des forêts : un point de vue économique et social. *Rev. For. Fr.* LXIV (5), 613-633.
26. Julve, C., Vandenhaute, M., Vermeulen, C., Castadot, B., Ekodeck, H., & Delvingt, W. (2007). Séduisante théorie, douloureuse pratique : la foresterie communautaire camerounaise en butte à sa propre législation. *Parcs et Réserves*, 62(2), 18–24
27. Kamga, Y. B., Nguetsop, V. F., Momo Solefack, M. C., & Riera, B. (2018). Diversité Floristique Des Ligneux Et Structure Des Formations A *Garcinia kola* Heckel Dans Les Régions Du Centre Et De l'Est, Cameroun. *European Scientific Journal*, 14(21), 451-484. Doi: 10.19044/esj.2018.v14n21p451
URL:<http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n21p451>. Consulté le 30 octobre 2023 à 16 h 36.
28. Karsenty, A., Cerutti, P. O., Doucet, J.-L., Putz, F. E., Romero, C., Bernard, C., Eba'a Atyi, R., Douard, P., Claeys, F., Desbureaux, S., Ezzine de Blas, D., Fayolle, A., Fomété, T., Forni, E., Gond, V., Gourlet-Fleury, S., Kleinschroth, F., Mortier, F., Nasi, R., Nguingiri, J. C., Vermeulen, C., & De Wasseige, C. (2016). L'aménagement forestier au Congo engendre-t-il plus de déforestation? s.l.: DP-Forêts d'Afrique Centrale, 17p. <http://dpfac.cirad.fr/amenagement-et-deforestation>.
<https://doi.org/10.18167/agritrop/00001> Consulté le 22 octobre 2025 à 18h11.
29. Karsenty, A. & Gourlet-Fleury, S. (2006). Les enjeux de la gestion des forêts en Afrique centrale. *Forêts d'Afrique Centrale*, 10(2), 45-56.
30. Kasekete, D. (2024) *Influence des facteurs biotiques et abiotiques sur la productivité forestière et la diversité floristique du sous-bois des plantations ligneuses autour du Parc National des Virunga en Province du Nord-Kivu (République Démocratique du Congo)*. Thèse de Doctorat en Forêt-Environnement. Université officielle de Ruwenzori, République Démocratique du Congo. DOI : 10.13140/RG.2.2.27441.80488/1. Consulté le 22 octobre 2025 à 17h59.
31. Kimpouni, A. (2001). Commercialization of forest products in the Republic of Congo. *Journal of Forest Economics*, 7(3), 167-176.

32. Kimpouni, A. (2017). Phytoécologie des faciès amantaceae de la forêt de Lossi (Congo, Brazzaville). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 11(4), 1437-1460. <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.V11i4.4>. Consulté le 10 mars 2025 à 15h56.
33. Korwin, M. (2021). Institutional management of forest resources in the Republic of Congo. *Forest Policy and Economics*, 123, 102-330.
34. Korwin, S. (2021). *Gouvernance forestière et climatique en République du Congo : quel avenir pour l'observation indépendante externe des forêts ?* Note d'analyse, Volonté de Fer / Fern. <https://loggingoff.info/wp-content/uploads/2021/12/Note-danalyse-OIE-VFFR.pdf>,
35. Kouadio, A. (2020). Ecological balance in tropical forest ecosystems: A case study of the Meliaceae and Fabaceae families. *Forest Ecology and Management*, 475,118-453.
36. Louzolo, B. (2021). Gouvernance forestière : lancement du projet OI-APV FLEGT et PASGOF-SNOI Congo, deux projets d'observation indépendante des Forêts. Ministère de l'Economie Forestière de la République du Congo. <https://apvflegtcongo.info>. Consulté le 5 novembre 2024 à 07 h19.
37. Marcon, E. (2025). Mesures de la Biodiversité. 294 pages. <https://hal.agroparistech.archives-ouvertes.fr/cel-01205813/>. Consulté le 30 octobre 2025 à 15h00.
38. Mertens & Belanger (2012). Atlas forestier de la République Démocratique du Congo. cité par Mpoyi A., Nyamwoga F., Kabamba F., -2013 : *Le contexte de la REDD+ en République Démocratique du Congo: Causes, agents et institutions* - books.google.com.
39. Mikoungui Gomo, M.-S., N'zala, D., & Ndzai, S. F. (2020). Diversité floristique des dépendances vertes périurbaines de Brazzaville (Congo) menacées de dégradation. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 14(7): 2567-2582. <http://www.ifgdg.org>. Consulté le 28 octobre 2025 à 18h37.
40. Ministère du Développement durable, de l'Économie forestière et de l'Environnement (MDDEFE) (2012). Plan d'aménagement UFA, Ipendja (2012-2041). *Bureau d'étude TERREA*. 248 pages.
41. Ministère de l'Économie Forestière & du Développement Durable (MEF) (2021). ATLAS FORESTIER INTERACTIF DU CONGO. Version 3.0 | Document de Synthèse. République du Congo. Éditeur : Alex Martin, World Resources Institute (WRI). <https://www.wri.Org>; Tropical Forest Management Techniques. *A Review of the Sustainability of Forest Management Practices*. In Tropical Countries. 61 pages.
42. Ministère de l'environnement et de développement durable de la RDC (2017). Guide opérationnel. Plan d'aménagement forestier. Prévision

- et planification des récoltes sur la série de ligneuses. Série n°2., 39 pages.
43. Ministère du Développement Durable, de l'Économie Forestière et de l'Environnement (MDDEF) (2012). *Plan d'aménagement de l'Unité Forestière d'Aménagement (UFA) IPENDJA du domaine forestier de la zone I Likouala, du Secteur Forestier*. République du Congo.
 44. Missa, K., YAO, K., Kouao Koffi, J., & Kafana Soro, K. (2023). Diversité floristique et structure de la végétation d'une carrière de granite dans le district de Yamoussoukro, Centre de la Côte d'Ivoire *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 17(4): 1519-1529, *International. Formulae Group. All rights reserved.*9419-IJBCS. <http://www.ifgdg.org>. DOI:<https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v17i4.18>. Consulté le 27 octobre 2025 à 14h29
 45. Montagné-Huck, C. & Niedzwiedz, A. (2013). De la définition et l'usage des indicateurs de gestion durable des forêts : un point de vue économique et social. *Revue Forestière Française*, 64(5), 613–633. [doi.org](https://doi.org/10.1051/ro/2013050)
 46. N'Dah Kouadio, C. K., Koulibaly, A., Coulibaly, S., Boko, B. B., Dramane, K. B., Diomande, V. P-A., & Kouadio Y. J. (2021). Potentiel de régénération naturelle des espèces ligneuses associées dans les agrosystèmes cacaoyers traditionnels de la zone rurale de DJEKRO (DALOA, COTE D'IVOIRE). *Agronomie Africaine Sp.* 33 (1) : 97 – 108.
 47. N'Dah Kouadio, J., Auteur, B., & Auteur, C. (2020). Titre de la recherche. *Nom de la Revue, volume(numéro)*, pages de début–pages de fin. <https://doi.org/xx.xxxx>
 48. Ndera Tuyizere, Nyandwi, E., Mugabowindekwe, M., Rwanyiziri, G., Ishimwe, A., & Ndayisaba, J. (2025) Évaluation de la couverture forestière et de la dynamique de la densité des arbres dans la région de la ligne de partage des eaux Congo-Nil, dans l'ouest du Rwanda. *Académie des sciences de l'environnement et de la durabilité*, 2 (3), 1-14. DOI:10.20935/AcadEnvSci7864 Editor: Luca Schenone. University of Rwanda.
 49. Olofsson, K. & Olsson, H. (2017). Estimation de la densité et de la distribution des diamètres des tiges d'arbres à partir de mesures laser terrestres en une seule passe sur des parcelles expérimentales: une étude de simulation. 33(4), 365-377. <https://doi.org/10.1080/02827581.2017.1368698>. Consulté le 29 octobre 2025 à 11 h 30
 50. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (2000). Évaluation des ressources forestières mondiales 2000. Rapport

- succinct de l'étude FAO FORETS 140. Rome (Italie). <https://fra/index/www.fao.org/forestry/fo x.jsp>. Consulté le 19 octobre 2025 à 20h12.
51. Picard, N. & Gourlet-Fleury, S. (2008). Manuel de référence pour l'installation de dispositifs permanents en forêt de production dans le Bassin du Congo. Rapport du Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD) : Libreville, Gabon. 259 pages.
52. Picard, N. & Gourlet-Fleury, S. (2008). *Manuel de référence pour l'installation de dispositifs permanents en forêt de production dans le Bassin du Congo*. COMIFAC.
53. Schnell, R. (1970). Introduction à la phytogéographie des pays tropicaux : les problèmes généraux. *Tome 1. Les flores. Les structures*. Paris. Edited by Gauthier-Villars, *Revue d'Écologie (La Terre et La Vie)* 25-3 ; 424-425 Pages.
54. Sepulchre, F., Dainou, K., & Doucet, J.-L. (2008). Étude de la vulnérabilité. NATURE +, chemin du Potisseau 124, BE-5100 Wépion (fred.sepulchre@gmail.com) (2) Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux, Laboratoire de Foresterie des Régions tropicales et subtropicales, passage des déportés 2, BE-5030 Gembloux (fortrop@fsagx.ac.be) 51 pages.
55. Tchatat, M., Ndoumbè Nkeng, M., Claude Abena, J. C., & Foahom, B. (2016). Volumes de bois autorisés à l'exploitation au Cameroun : détermination des valeurs maximales de dépassement Cameroun *Bois et Forêts des Tropiques* 2 0 0 8, N ° 2 9 5 (1)
56. Xavier, M. (2014). Gestion et conservation des forêts : quel rôle joue la diversité des essences ? *Mission Agrobiosciences-INRAE. Revue SESAME, numéro 16 Sesame 2024*. [https ://revue-sesame-inrae.fr/](https://revue-sesame-inrae.fr/) 64 pages