

## Travail de fin d'études

**Auteur** : Kamdem Meikeu, Marie Gyslène

**Promoteur(s)** : Doucet, Jean-Louis

**Faculté** : Faculté des Sciences

**Diplôme** : Master de spécialisation en sciences et gestion de l'environnement dans les pays en développement

**Année académique** : 2020-2021

**URI/URL** : <http://hdl.handle.net/2268.2/13166>

---

### *Avertissement à l'attention des usagers :*

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---



**ULiège - Faculté des Sciences - Département des Sciences et Gestion de l'Environnement**

**UCLouvain - Faculté des bioingénieurs**

**GESTION ET CONSERVATION DE *NAUCLEA DIDERICHII* EN FORET  
TROPICALE AFRICAINE**

**MARIE GYSLÈNE KAMDÈM MEIKEU**

**MEMOIRE REDIGÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE  
MASTER DE SPECIALISATION EN SCIENCES ET GESTION DE L'ENVIRONNEMENT DANS LES PAYS  
EN DEVELOPPEMENT**

**MODULE NATURE ET TERRITOIRE**

**REDIGÉ SOUS LA DIRECTION DE JEAN-LOUIS DOUCET**

**ANNEE ACADEMIQUE 2020 - 2021**

## Copyright

Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique\* de l'Université de Liège et de l'Université Catholique de Louvain.

\*L'autorité académique est représentée par le promoteur membre du personnel enseignant de l'Université de Liège et de l'Université Catholique de Louvain.

Le présent document n'engage que son auteur.

Auteur du présent document : [KAMDEN MEIKEU Marie Gyslène - meikeugyslne@yahoo.fr].

## REMERCIEMENTS

La réalisation du présent mémoire de fin d'études a été possible grâce à la collaboration de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma gratitude.

Mes plus vifs remerciements sont adressés à mon promoteur, le professeur Jean-Louis DOUCET. Son soutien, sa rigueur scientifique, ses conseils et remarques ont été d'une importance inégalable pour la réalisation du présent travail. Je tiens à lui témoigner toute ma reconnaissance.

Le professeur Bonaventure SONKE m'a initié à l'écologie des plantes et n'a cessé de suivre avec attention mon évolution, qu'il trouve en ce manuscrit l'expression de toute ma reconnaissance.

Mes chaleureux remerciements sont adressés au personnel de l'Université de Liège et de l'Université Catholique de Louvain pour la qualité des enseignements reçus. A toute l'équipe du programme 'Master de Spécialisation en Sciences et Gestion de l'Environnement dans les Pays en Développement (MS SGE PED)', je tiens à leur témoigner ma reconnaissance pour l'accueil et l'accompagnement tout au long de cette formation.

Je tiens à adresser ma reconnaissance à l'Académie de Recherche et de l'Enseignement Supérieur de la Fédération Wallonie-Bruxelles (ARES-CCD) pour la bourse d'étude qu'elle m'a accordée pour suivre ce programme de formation dont les acquis me permettront d'aborder les problématiques environnementales avec plus de sérénité.

Je remercie également l'ONG Nature+ pour son soutien et toutes les sociétés forestières qui ont accepté de partager leurs données pour la présente étude.

Mes remerciements sont également adressés à toute l'équipe du Laboratoire de Botanique Systématique et d'Ecologie (Université de Yaoundé I) et du Laboratoire de Foresterie des Régions Tropicales et Subtropicales de Gembloux Agro-Bio Tech (Université de Liège) pour l'ambiance de travail et en particulier à Jean-Yves DE VLEESCHOUWER, Félicien TOSSO, Robin DOUCET, Donatien ZEBAZE, Franck MONTHE, Fructueux HOUNGBEGNON, Davy FONTEYN, Nassim DAHER, Morgane SCALBERT, Kasso DAINOU pour leurs disponibilités et la franche collaboration.

Mes sincèrement remerciements sont également adressés à ma famille pour sa patience, ses encouragements et son soutien durant cette période de formation. C'est aussi l'occasion d'exprimer toute ma reconnaissance à mes camarades de promotion dont la présence a été réconfortante. L'entraide mutuelle et la collaboration ont participé à la réussite de notre cursus.

A tous ceux qui de près ou de loin, nous ont soutenus et servis d'appui durant la présente formation et dont les noms ne sont pas évoqués dans les précédents paragraphes, qu'ils trouvent en ce manuscrit l'expression de notre profonde gratitude.

# TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS .....	ii
TABLE DES MATIÈRES.....	iii
LISTE DES ACRONYMES.....	iv
LISTE DES FIGURES .....	v
LISTE DES TABLEAUX .....	v
RÉSUMÉ.....	vi
ABSTRACT .....	vii
1 INTRODUCTION.....	1
1.1 CONTEXTE .....	1
1.2 PROBLEMATIQUE.....	1
1.3 OBJECTIF .....	2
2. MODÈLE BIOLOGIQUE.....	2
2.1 APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE.....	2
2.2 DESCRIPTION DU MODÈLE BIOLOGIQUE .....	2
2.2.1 Taxonomie .....	2
2.2.2 Description botanique .....	3
2.2.3 Caractéristiques biologiques .....	5
2.2.3.1 Phénologie.....	5
2.2.3.2 Pollinisation .....	5
2.2.3.3 Dispersion .....	6
2.2.3.4 Dormance et germination.....	6
2.2.4 Sylviculture .....	7
2.2.4.1 Éducation en pépinière, croissance et mortalité en plantations .....	7
2.2.5.2 Maladies et ravageurs.....	8
2.2.5 Influence des facteurs environnementaux sur la distribution et le tempérament de <i>Nauclea diderrichii</i> .....	8
2.2.6 Caractéristiques du bois et utilisations.....	9
2.2.7. Usages alimentaires et médicinaux .....	9
2.2.8. Phytochimie .....	10
2.2.9. Aménagement forestier.....	10
2.2.9.2 Normes d'exploitation.....	11
2.2.10. Statut de conservation et commerce.....	12
3. DISPERSION DES GRAINES .....	13
3.1. MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	13
3.1.1. Zone d'étude .....	13
3.1.2. Collecte des données.....	15
3.2. RÉSULTATS .....	16
3.3. DISCUSSION .....	19
4. IMPACT DE L'EXPLOITATION FORESTIÈRE SUR LES POPULATIONS DE <i>N. DIDERRICHII</i> . ...	20
4.1. MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	21
4.1.1. Sites d'études .....	21
4.1.2. Collecte et traitement de données .....	25
4.2. RÉSULTATS .....	27
4.2.1. Abondance de <i>Nauclea diderrichii</i> .....	27
4.2.2. Accroissement en diamètre chez <i>Nauclea diderrichii</i> .....	27
4.2.3. Structures de populations .....	27
4.2.3. Taux de reconstitution.....	30
4.3. DISCUSSION.....	34
5. CONCLUSION ET PERSPECTIVE.....	35
BIBLIOGRAPHIE .....	37
ANNEXES .....	44

## **LISTE DES ACRONYMES**

ATIBT : Association Technique Internationale des Bois Tropicaux

BC : Bassin du Congo

CITES : Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora  
(Convention sur le Commerce International des espèces de faune et de flore sauvages menacées  
d'extinction)

DHP : Diamètre à Hauteur de Poitrine

DME : Diamètre Minimum d'Exploitabilité

DMA : Diamètre minimum d'aménagement

DynAfFor : Dynamique des forêts d'Afrique centrale

GBIF : Système mondial d'information sur la biodiversité ou « Global Biodiversity Information  
Facility »

IUCN: International Union for Conservation of Nature

NT : Quasi menacée

OIBT : Organisation Internationale des Bois Tropicaux

P3FAC : Partenariat Public-Privé pour gérer durablement les Forêts d'Afrique centrale

RCA : République Centrafricaine

RDC : République Démocratique du Congo

Rep. du Congo : République du Congo

RPP : Réduction de la population prévue

UFA : Unités Forestières d'Aménagement

% Re : Taux de reconstitution

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Quelques organes végétatifs de <i>Nauclea diderrichii</i> ; a) base du tronc, b) base du houppier, c) écorce, d) feuilles.....	4
Figure 2: Quelques organes reproducteurs de <i>Nauclea diderrichii</i> ; a) vieilles inflorescences, b) fruits, c) graines sur fond millimétré.....	4
Figure 3 : Plantule de <i>Nauclea diderrichii</i> .....	7
Figure 4 : Jeunes pousses de <i>Nauclea diderrichii</i> forées : a) larve d' <i>Orygmophora mediofoveata</i> , b) tiges multiples.....	8
Figure 5 : Zone de suivi des disperseurs de graine de <i>Nauclea diderrichii</i> prospecté au Cameroun.....	15
Figure 6 : Des animaux ingérant des fruits de <i>Nauclea diderrichii</i> a) <i>Cercocebus agilis</i> , b) <i>Philantomba monticola</i> .....	16
Figure 7 : Répartition de la fréquence des détections d'animaux consommant des fruits de <i>Nauclea diderrichii</i> à Mindourou.....	17
Figure 8 : Répartition de taux de détection des animaux capturées au pied d'un individus de <i>Nauclea diderrichii</i> en fruit dans la Réserve du Dja.....	18
Figure 9 : Cohorte de <i>Guttera plumifera</i> se nourrissant au pied d'un <i>Nauclea diderrichii</i> en fruit.....	19
Figure 10: Limites de l'aire de répartition naturelle de <i>Nauclea diderrichii</i> dans la zone étudiée.....	25
Figure 11 : Structure globale des populations de <i>Nauclea diderrichii</i> .....	28
Figure 12 : Structures diamétriques de <i>Nauclea diderrichii</i> selon les différents types forestiers rencontrés dans la zone d'étude.....	29
Figure 13 : Structure de population de <i>Nauclea diderrichii</i> pour chaque type forestier de l'étude.....	30

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Phénogramme de fructification de <i>Nauclea diderrichii</i> en Afrique centrale.....	5
Tableau 2 : Diamètre minimum d'exploitabilité de <i>Nauclea diderrichii</i> .....	11
Tableau 3 : Taux de reconstitution de <i>Nauclea diderrichii</i> en Afrique centrale.....	11
Tableau 4 : Quelques tarifs de cubage élaborés pour <i>Nauclea diderrichii</i> (Picard and Gourlet-Fleury, 2011 ; Henry et al., 2013).....	12
Tableau 5 : Liste des espèces identifiées au pied des semenciers en fruit de <i>Nauclea diderrichii</i> à Mindourou.....	16
Tableau 6 : Liste des taxons identifié dans la réserve du Dja et leur statut (IUCN, 2021).....	18
Tableau 7 : Recapitulatifs des sites échantillonnées en fonction des types forestiers de Rejou-Mechain et al. (2021).....	21
Tableau 8 : Synthèse des données d'accroissement en diamètre de <i>Nauclea diderrichii</i> .....	25
Tableau 9: Densité de <i>Nauclea diderrichii</i> au sein des différents types forestiers inventoriés.....	27
Tableau 10 : Taux de reconstitution global combinant le temps de rotation et le DME.....	30
Tableau 11 : Taux de reconstitution global combinant le temps de rotation et le DME (coefficient d'exploitation de 70 %)......	31
Tableau 12 : Taux de reconstitution de <i>Nauclea diderrichii</i> dans les formations sempervirentes atlantiques.....	31
Tableau 13 : Taux de reconstitution de <i>Nauclea diderrichii</i> dans les formations Semi-décidues.....	31
Tableau 14 : Taux de reconstitution de <i>Nauclea diderrichii</i> en forêt sempervirente centrale.....	32
Tableau 15 : Taux de reconstitution de <i>Nauclea diderrichii</i> dans les formations de type transition sur grès de carnot.....	32
Tableau 16 : Taux de reconstitution de <i>Nauclea diderrichii</i> en forêt semi-décidue dégradée.....	33
Tableau 17 : Taux de reconstitution de <i>Nauclea diderrichii</i> en zone de transition dans les formations semi-décidues.....	33
Tableau 18 : Taux de reconstitution de <i>Nauclea diderrichii</i> en zone de transition dans les formations sempervirentes mélangées.....	34

## RÉSUMÉ

La présente étude vise à synthétiser et à compléter les connaissances relatives à *Nauclea diderrichii*, une espèce ligneuse commercialisée internationalement sous le nom de bilinga. Pour y parvenir, nous avons d'abord réalisé une synthèse des connaissances sur l'espèce et identifié les actuelles lacunes. Ensuite, une étude préliminaire des espèces animales intervenant dans la dispersion des graines a été réalisée au Cameroun. Enfin, les impacts de l'exploitation sur les populations ont été estimés en mobilisant une base de données couvrant plus de 7 millions d'hectares.

Bien que *N. diderrichii* soit relativement bien documenté, les données permettant de mieux caractériser son écologie et la dynamique de ses populations sont très éparses et incomplètes. Il s'agit d'un sérieux frein à la mise en place d'une sylviculture adaptée.

Deux habitats prospectés au Cameroun ont permis d'identifier 14 taxons des disperseurs de *N. diderrichii*. *Cephalophus monticola* et plusieurs espèces de rongeurs sont probablement les disperseurs terrestres les plus importants. Les disperseurs arboricoles mériteraient aussi d'être observés.

L'exploitation forestière a vraisemblablement un impact limité sur les populations de l'espèce. Présente à une densité moyenne de 0,25 pied (de diamètre supérieur à 20 cm) par hectare, elle n'est pas rare. Sa structure de population suit une courbe décroissante indicative d'une régénération soutenue. Les diamètres légaux d'exploitation sont supérieurs aux diamètres de fructification régulière. Considérant un accroissement annuel moyen en diamètre relativement faible (0,35 cm), les taux de reconstitution des effectifs exploitables sont faibles à modérés.

Sur base de l'ensemble de ces informations, le statut « NT » attribué par l'IUCN semble se justifier.

**Mots clés :** Ecologie, exploitation, disperseur, *Nauclea diderrichii*, phénologie, taux de reconstitution, structure diamétrique.



## ABSTRACT

This study was initiated to contribute to the assessment of the vulnerability status of *Nauclea diderrichii*, a commercial timber species distributed within various forest types in Central Africa and traded internationally as bilinga. To achieve this, we first produced a synthesis of existing knowledge about the species and identified current gaps. Then, a preliminary study of the animal species involved in seed dispersal was conducted in Cameroon. Finally, the impacts of logging on *N. diderrichii* populations were estimated by mobilizing a database covering more than 7 million hectares.

Although *N. diderrichii* is relatively well documented, data on its ecology and population dynamics are very sparse and incomplete. This is a serious impediment to the establishment of an adapted silviculture.

Fourteen taxa of dispersers were identified in two habitats. *Cephalophus monticola* and several rodent species are probably the most important terrestrial dispersers. Arboreal dispersers would also be worth observing.

Logging probably has a limited impact on the populations of the species. Present at an average density of 0.25 stem (diameter greater than 20 cm) per hectare, it is not rare. Its population structure follows a decreasing curve indicative of sustained regeneration. The legal diameters of exploitation are higher than the diameters of regular fruiting. Considering a relatively low average annual increase in diameter (0.35 cm), the rates of recovery of exploitable stems are low to moderate.

Based on all this information, the “NT” IUCN status of NT seems to be justified.

**Keywords:** Ecology, exploitation, diameter structure, dispersers, *Nauclea diderrichii*, phenology, rate of reconstitution.

# 1 INTRODUCTION

## 1.1 CONTEXTE

Le massif forestier du bassin du Congo constitue le second plus grand massif forestier tropical après l'Amazonie (FAO, 2011). Il est constitué d'écosystèmes variés et est doté d'une impressionnante diversité biologique ainsi qu'un niveau d'endémisme élevé (UNESCO, 2010). Les forêts qu'il abrite produisent de nombreux biens et fournissent d'importants services à l'humanité, dont la fixation du carbone (Hubau et al., 2020).

La canopée des forêts d'Afrique centrale est souvent dominée par des espèces héliophiles recherchées pour la qualité de leur bois sur les marchés nationaux et internationaux (Doucet, 2003 ; Bourland, 2013 ; Vleminckx et al., 2020). La plupart de ces espèces présentent un déficit de régénération en forêts matures (Poorter et al., 1996 ; Gillet, 2013 ; Biwolé, 2015) car les conditions ayant permis leur régénération au cours du 19<sup>e</sup> siècle à savoir, les vastes champs ouverts au cœur des massifs forestiers, ne sont plus réunies de nos jours suite à la sédentarisation des agriculteurs (Morin-Rivat et al., 2017). Les forêts s'appauvrissent donc progressivement en essences commerciales au gré des rotations successives, ce qui compromet la viabilité de leur exploitation industrielle (Karsenty and Gourlet-Fleury, 2006).

*Nauclea diderrichii* (Rubiaceae) figure parmi ces grands arbres héliophiles dont la régénération pourrait être localement déficitaire. Commercialisé sous le nom de bilinga, il fait partie des espèces ligneuses les plus exploitées d'Afrique Centrale (FRMi, 2018) et possède de hautes valeurs socio-culturelles (Martins and Nunez, 2015).

## 1.2 PROBLEMATIQUE

En Afrique centrale, l'exploitation forestière représente l'une des formes prépondérantes d'affectation des terres (FRMi, 2018a). Sa forte sélectivité a un impact limité sur le couvert forestier mais, se traduit par la raréfaction des principales espèces produisant du bois d'œuvre (Karsenty et Gourlet-Fleury, 2006). Malheureusement, dans un contexte de forte croissance démographique et en quête de développement, les pays de ce massif convertissent de plus en plus leurs forêts appauvries en d'autres spéculations dont les impacts environnementaux sont bien plus considérables (plantation de palmiers à huile par exemple) (Megevand, 2013; Tchatchou *et al.*, 2015; Ngodo Melingui *et al.*, 2017; OFAC, 2018). Pour éviter cette conversion, il convient de prendre des mesures visant à garantir la production de bois d'œuvre

sur le long terme et de valoriser durablement les différentes ressources provenant des arbres (Topa *et al.*, 2009; FRMi, 2018a).

### **1.3 OBJECTIF**

Le présent travail ambitionne de synthétiser et de compléter les connaissances relatives à *N. diderrichii*, une espèce ligneuse qui figure parmi des dix essences plus exploitées dans le bassin du Congo (OIBT, 2017).

Sur base d'une recherche bibliographique approfondie relative à notre modèle biologique, nous avons d'abord identifié les thématiques qui mériteraient d'être davantage investiguées. Au vu des résultats, nous avons réalisé, sur le terrain, une étude préliminaire des disperseurs potentiels des graines de *N. diderrichii*. Ensuite, à partir d'une importante base de données d'inventaires d'aménagement, nous avons tenté de déterminer les impacts de l'exploitation forestière sur les populations de l'espèce. Les implications en termes de statut de conservation sont finalement discutées.

## **2. MODÈLE BIOLOGIQUE**

### **2.1 APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE**

Compte tenu de l'intérêt commercial de *Nauclea diderrichii*, il est impératif d'actualiser les informations relatives à l'espèce afin de mieux décrire son écologie et proposer des normes de gestion adaptées. Une synthèse de la bibliographie a donc été réalisée en exploitant les ressources documentaires disponibles dans la bibliothèque de Gembloux Agro-Bio Tech (Université de Liège) et en utilisant plusieurs moteurs de recherche notamment : Orbi, Google Scholar, Science Direct, Scopus, Elsevier, GlobAllomeTree Les mots clés en français ainsi que leur équivalent en anglais, employés ont été les suivants : *Nauclea diderrichii*, *Sarcocephalus diderrichii*, écologie, sylviculture, aménagement forestier, ethnobotanique et phytochimie.

### **2.2 DESCRIPTION DU MODÈLE BIOLOGIQUE**

#### **2.2.1 Taxonomie**

*Nauclea diderrichii* est l'une des 13 espèces végétales du genre *Nauclea* L décrit par Carl Von Linné en 1762. Cette plante appartient à la famille des Rubiaceae (Govaerts *et al.*, 2021). Le premier spécimen de l'espèce a été récolté dans le Mayombe par M. Diderrich. En 1897, De Wildeman et Th. Durand le classa dans le genre *Sarcocephalus* en le dédiant au collecteur ;

*Sarcocephalus diderrichii*. En 1901 puis en 1903, De Wildeman publia une description améliorée de *S. diderrichii*. En 1913, Chevalier critiqua ces descriptions et proposa le nom *S. trillesii* Pierre ex De Wild (Chevalier, 1938). Ce nom ne fut pas accepté parce que dès 1956, le code de nomenclature n'acceptait plus les publications faites sur la seule base d'une planche de dessin (Petit, 2058). En 1915, le botaniste américain Elmer Drew Merrill remplaça le genre *Sarcocephalus* par *Nauclea* et l'espèce devint *Nauclea diderrichii* (De Wild. et T. Durand) Merrill (Wright et al., 1915 ; Hallé, 1966).

D'un point de vue phylogénétique, les travaux de Razafimandimbison et al. (2004), utilisant la région ITS (Internal Transcribed Spacer) de l'ADN ribosomique, ont montré que *Nauclea diderrichii* forme la sous-tribu des *Naucleinae* avec les genres *Burttavya*, *Neolamarckia* et *Sarcocephalus*. Plusieurs espèces de ces genres sont des synonymes des taxons du genre *Nauclea* (Govaerts et al., 2021).

### **2.2.2 Description botanique**

La description de *Nauclea diderrichii* est explicitée dans des flores et autres ouvrages botaniques (Wright et al., 1915 ; Voorhoeve, 1965 ; Hallé, 1966 ; Vivien and Faure, 2011 ; Petit, 2013; Meunier et al., 2015 ; Weghe et al., 2016).

*Nauclea diderrichii* est un arbre atteignant 50 m de haut et 160 cm de diamètre. Son fût est droit, cylindrique sans contreforts, éventuellement avec de légers empattements. Il peut être dépourvu de branches sur 30 m. Sa cime arrondie possède des branches aux rameaux glabres disposés en verticilles très souvent horizontaux. La surface de son écorce d'un brun pâle à grisâtre est écailleuse et fissurée longitudinalement. La partie interne est jaune pâle et fibreuse, elle vire au brun jaunâtre lors de l'exposition à l'air. Les feuilles sont opposées, simples et entières avec de grandes stipules interpétiolaires foliacées, carénées et caduques. Le pétiole mesure 1 à 3 cm de longueur et est glabre. Le limbe, également glabre et ovale est cunéiforme à arrondi à la base puis légèrement acuminé à l'apex. Il comporte 4-13 paires de nervures latérales et atteint 10 cm de longueur et 8 cm de large. La taille des feuilles est plus grande chez les jeunes individus (rejets ou jeunes plantes) et mesure jusque 30 cm de long et 20 cm de large (figure 1).



Figure 1 : Quelques organes végétatifs de *Nauclea diderrichii* ; a) base du tronc, b) base du houppier, c) écorce, d) feuilles.

L'inflorescence de *Nauclea diderrichii* a une forme de capitule solitaire, terminale et sphérique, de diamètre compris entre 1 et 4 cm avec un pédoncule long de 4 cm. Les fleurs odorantes sont bisexuées et régulières. Les lobes du calice sont en forme de prisme, ils sont également épaissis puis poilus à l'apex. La corolle constituée de 5 lobes blanc-verdâtre ou jaunâtre se présente sous forme d'un tube en étroit entonnoir de 7 à 8 mm de long et pubescent à l'intérieur. Les étamines au nombre de cinq, sont insérées au niveau de la gorge du tube de la corolle. L'ovaire infère comporte deux loges, un style de 4,5 à 6 mm sur le bord de la corolle et un stigmate en massue. Les fruits charnus sont soudés en une infrutescence globuleuse qui mesure en moyenne 4 cm de diamètre. Elle est de couleur brun-grisâtre à orange-brun à maturité. Sa surface est ornée d'un réseau discontinu de lobes calycinaux inégalement soudés. Elle contient de nombreuses graines réticulées, globuleuses à ellipsoïdes ou ovoïde, brunâtre et mesurent environ 1 mm de longueur pour un poids de 0,3 mg (Kyereh et al., 1999) (figure 2).



Figure 2: Quelques organes reproducteurs de *Nauclea diderrichii* ; a) vieilles inflorescences, b) fruits, c) graines sur fond millimétré.

## 2.2.3 Caractéristiques biologiques

### 2.2.3.1 Phénologie

Doucet (2003), Gillet (2013), Meunier et al. (2015) classent *Nauclea diderrichii* parmi les espèces sempervirentes alors que selon d'autres auteurs il ne serait pas rare de rencontrer des individus sans feuilles sur une courte période à la fin des pluies et durant la petite saison sèche (Hecketsweiler, 1992 ; Matig et al., 2006 ; Orwa et al., 2009). Au Gabon, sa floraison a été décrite par Hecketsweiler (1992). Elle a lieu de mars à mai, durant les mois les plus pluvieux. Elle peut débuter dès que l'arbre atteint 15 cm de diamètre pour autant que sa cime soit correctement exposée (Doucet, 2003). De fortes variations locales semblent exister (Ouedraogo et al., 2018) et une juxtaposition des périodes de maturation des fruits et de floraison est observée de juin à août au Cameroun et au Gabon (Mbelli, 2002 ; Doucet, 2003). La fructification se déroule principalement lors de la petite saison sèche au Cameroun et lors des deux saisons sèches au Gabon (Tableau 1). Elle n'est régulière que lorsque le diamètre à hauteur de poitrine (dbh) de l'arbre est compris entre 45 et 55 cm (Dupuy, 1998 ; Manuel ATIBT-FFEM, 2014).. Chaque individu fertile peut produire plus de mille fruits. Les infrutescences sèches ont un poids moyen de 3,4 g (Mbelli, 2002).

Tableau 1 : PhénoGramme de fructification de *Nauclea diderrichii* en Afrique centrale.

Les chiffres de chacune des cases représentent le nombre d'année de suivi de l'espèce.

Position	Sites	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.	Sources
Latitude nord	Cameroun (Djoum)							3	3					Nature + (comm. pers)
Latitude nord	Cameroun (Maan)							3	3					Nature + (comm. pers)
Latitude nord	Cameroun (Mindourou)							3	3					Nature + (comm. pers)
Latitude sud	Gabon (Bambidie)							3	3			3	3	Nature + (comm. pers)
Latitude sud	Gabon (Ekouk)							3	3	3				Schmidt (1992)
Latitude sud	Gabon (Mpassa)	3	3							3	3	3	3	Hecketsweiler (1992)

### 2.2.3.2 Pollinisation

Les grains de pollen de *Nauclea diderrichii* ont une forme triangulaire aux côtés convexes, ils sont fortement ornementés, polaires et agglomérés par une substance visqueuse lipidique qui les rend aptes à être véhiculés par les insectes (Hallé, 1967 ; Gosling et al., 2013). La pollinisation de l'espèce est peu décrite et les études sur les interactions plantes-animaux au niveau de la canopée restent rares (Chatelain et al., 2001 ; Bhasin, 2017). Opuni-Frimpong and Opuni-Frimpong (2012) mentionnent néanmoins une pollinisation ixoroïde (dépôt du contenu des étamines au sommet du style avant l'épanouissement total de la fleur) effectuée par des

insectes. Pour Bawa (1990), les papillons de nuit représentent les principaux pollinisateurs des Rubiaceae. Chez *Nauclea* spp., Caraglio (2003) avait mentionné des fourmis attirées par les nectaires. Bhasin (2017) avait évoqué des interactions entre plusieurs espèces animales notamment les chauves-souris qui consomment des fleurs de *N. orientalis* et qui pourraient également participer à la pollinisation des autres espèces du genre.

### **2.2.3.3 Dispersion**

Au Gabon, les graines de *Nauclea diderrichii* sont dispersées d'août à décembre (fin de la grande saison sèche et saison des pluies) (Meunier et al., 2015). L'endozoochorie est le principal mode de dispersion (Orwa et al., 2009 ; Kimpouni et al., 2013 ; Thiry et al., 2019). Parmi les animaux impliqués figurent : les oiseaux, les chauves-souris, les ruminants, les éléphants (*Loxodonta cyclotis* Matschie), les chimpanzés (*Pan troglodytes verus* Blumenbach) et les gorilles (*Gorilla gorilla gorilla* Savage & Wyman) (Tchatat, et al., 1999 ; Kyereh et al., 1999 ; Haurez, 2015 ; Walter et al., 2019). Toutefois l'importance relative de ces taxons dans la dispersion n'a jamais été étudiée.

### **2.2.3.4 Dormance et germination**

Les graines de *Nauclea diderrichii* sont dormantes et relativement abondantes dans la banque de graines du sol. Douh et al. (2018) ont montré qu'elles se retrouvent jusqu'à 20 cm de profondeur avec une densité variant entre 14,4-34,4 graines/m<sup>2</sup> en fonction du type forestier. Dans le nord du Congo, elles sont plus abondantes dans les forêts à *Manilkara* et se développent sur des sols acides. La dormance serait photolabile puisque les graines ne peuvent germer qu'après une mise en lumière (Kyereh et al., 1999). Ces graines sont albuminées et entourées par un tégument mince. Selon Toledo-Aceves & Swaine (2008) le taux de germination est réduit et la croissance est faible en milieux ombragés. Kyereh et al. (1999) ont mis en évidence une germination optimale à 30 % d'éclairement relatif et un taux de germination n'excédant pas 40 %.

La germination de *Nauclea diderrichii* est épigée. La graine possède des cotylédons foliacés présentant un limbe ové de 5 mm de longueur, dont la base est tronquée et munie d'un pétiole. Les deux premières feuilles d'environ 7 mm × 4 mm sont simples, opposées comme toutes les suivantes et se caractérisent par un limbe elliptique et la présence de stipules, chaque paire de feuilles étant plus grande que la précédente. Elles naissent sur des entrenœuds très courts qui s'allongent par la suite (Figure 3) (De La Mensbrugge, 1966).



Figure 3 : Plantule de *Nauclea diderrichii*.

## 2.2.4 Sylviculture

### 2.2.4.1 Éducation en pépinière, croissance et mortalité en plantations

En pépinière, des plants de *Nauclea diderrichii* peuvent être obtenus à partir de semis et de boutures (Leakey, 1990). Les graines de taille minuscule sont extraites après trempage des fruits dans l'eau, la pulpe est ensuite broyée, séchée pendant au moins 24 heures à l'air ambiant puis tamisée (De La Mensbrughe G., 1966). Les graines semées en germeoir lèvent généralement entre 2 à 4 semaines avec un taux de germination qui oscille entre 50 et 75 %. Les plantules atteignent 30 à 40 cm après 12 mois environ (Matig et al., 2006 ; Opuni-Frimpong and Opuni-Frimpong, 2012 ; Daïnou et al, 2021).

Etigale et al. (2014) suggèrent de planter des individus d'au moins 18 mois et de respecter un espacement de 2,5 à 4,5 m × 2,5–3 m. Selon Omokhua et al. (2009), *N. diderrichii* est une essence indiquée pour reboiser les zones forestières dégradées. En plantation multispécifique (par sous-placettes de 25 plants), dans les forêts semi-décidues dégradées du sud-est du Cameroun, Doucet et al. (2016) ont néanmoins obtenu des résultats très mitigés. Après 690 jours, le taux de survie de l'espèce était estimé à 44 % avec une croissance diamétrique de 1,62 mm/an (écart-type = 1,34 pour un effectif de 75 plants). Ces valeurs sont inférieures à celles observées par Koumba Zaou et al. (1998) au bout de six ans en conditions de forêts dégradées et de sous-bois forestier. Ces auteurs ont noté des taux de survie respectif de 97 % et 88 % et une croissance diamétrique moyenne de 12,3 mm.an<sup>-1</sup> (écart-type =2,6) et 8,6 mm.an<sup>-1</sup> (écart-type =1,3). Ces résultats très contrastés soulignent que la sylviculture de l'espèce en est à ses balbutiements et qu'il est nécessaire de quantifier précisément les besoins en lumière et en eau des plantules de différentes provenances géographiques.



### 2.2.5.2 Maladies et ravageurs

*Nauclea diderrichii* est confrontée aux attaques de nombreux parasites à l'origine de la pourriture des racines, de la tige, des fruits et des graines (Voorhoeve, 1965). Le champignon pathogène *Fusarium oxysporum* (Hypocriales : Nectriaceae), provoque la pourriture racinaire des semis. Les attaques par les chenilles foreuses telles que : *Orygmophora mediofoveata* (Lepidoptera : Noctuidae) et les fourmis qui agressent principalement le bourgeon terminal de la plante conduisent en général à la déformation des tiges (tiges multiples) et à la mort des jeunes individus (Eidt, 1965 ; Orwa et al., 2009 ; Bosu et al., 2013 ; Daïnou et al., 2021) (Figure 4). Le coléoptère *Hypothenemus hampei* (Curculionidae : Scolytinae) s'attaque principalement aux fruits et aux graines (Vega et al., 2012). En outre, l'extrémité des jeunes gaules, très appréciée par les primates, est régulièrement endommagée (Chatelain et al., 2001 ; Orwa et al., 2009).

Pour limiter les attaques par des champignons en pépinière, la stérilisation du matériel et des matériaux de culture (sol, sable, compost, gravier) et l'exposition des plantules au soleil est recommandée. En champs, il est souhaitable d'éviter la création des plantations monospécifiques (Omokhua, 2009 ; Bosu et al., 2017 ; Daïnou et al., 2021).



Figure 4 : Jeunes pousses de *Nauclea diderrichii* forées : a) larve d'*Orygmophora mediofoveata*, b) tiges multiples.

### 2.2.5 Influence des facteurs environnementaux sur la distribution et le tempérament de *Nauclea diderrichii*

*N. diderrichii* est rencontrée sous les climats tropicaux de type humide et de mousson. Elle nécessite une pluviométrie moyenne annuelle oscillant entre 1200 et 4500 mm (Dupuy, 1998 ; Opuni-Frimpong and Opuni-Frimpong, 2012). Cette espèce préfère des sols neutres à légèrement acides (pH situé entre 4,6 et 6,5), bien drainés, à texture argilo-sableuse et limoneuse (Fayolle et al., 2012 ; Voorhoeve, 1965). Elle peut être localisée dans les zones allant du niveau de la mer jusqu'à 1650 m d'altitude. *N. diderrichii* est rencontré en forêt dense

humide sempervirente, en forêt semi-décidue (Dupuy and Mille, 1993 ; De Wasseige et al., 2012) et dans les formations secondaires (Gillet, 2013 ; Dupuy, 1998 ; Doucet, 2003 ; Voorhoeve, 1965).

*N. diderrichii* est une plante héliophile (Dupuy and Mille, 1993 ; Doucet, 2003) qualifiée de pionnière (Riddoch et al., 1991 ; Hawthorne 1995 ; Toledo-Aceves and Swaine, 2008 ; Meunier et al., 2015). Elle se régénère abondamment dans les vastes trouées forestières et en bordure de routes mais souffre souvent de la concurrence d'autres espèces pionnières à croissance plus rapide (Doucet et al., 2004 ; Opuni-Frimpong and Opuni-Frimpong, 2012).

### **2.2.6 Caractéristiques du bois et utilisations**

D'après la description anatomique faite par Richter and Dallwitz (2000) le bois de cœur de *Nauclea diderrichii* varie du jaune au rouge brun avec des veines orange et rougeâtre, il devient plus foncé après son exposition à l'air libre. Il est non fluorescent et constitué de substances lixiviables à l'eau (Istas et al., 1954). Ses extraits aqueux sont non fluorescents contrairement aux extraits alcooliques. Les résidus de sa combustion ont un éclat de charbon. L'aubier, de 3 à 5 cm de large, se distingue nettement du duramen et possède des grains moyens ainsi qu'une coloration blanche à jaune pâle qui vire au rose ou au gris, il présente fréquemment des contrefils et des fils ondulés. Les vaisseaux conducteurs de sève présentent des pores disséminés sans disposition particulière.

Le bois de *Nauclea diderrichii* nécessite un séchage lent à l'air libre, il est très durable vis-à-vis des champignons, termites et résiste aux insectes (Martin et al., 2014). Les principales caractéristiques technologiques de l'espèce couvrent toutes les classes d'emploi et son bois peut de ce fait être exposé à l'humidité permanente ou être immergé dans le sol ou dans les milieux marins y compris les eaux saumâtres et les estuaires (Martin and Vernay, 2016).

### **2.2.7. Usages alimentaires et médicinaux**

On reconnaît à *Nauclea diderrichii* diverses vertus en pharmacopée traditionnelle (Yetein et al., 2013 ; Martins and Nunez, 2015). Toutes les parties de la plante sont utilisées sous forme de décocté, de macéré ou d'infusé (Odoh et al., 2018). Les racines ont des propriétés diurétiques, purgatives et soignent l'anémie. La consommation d'une décoction ou de l'infusion de l'écorce est conseillée contre les maux d'estomac, la constipation, la fièvre jaune, l'hépatite, le paludisme et sert également de lotion pour les pieds. L'écorce possède des propriétés diurétiques (Adomou et al., 2012). La décoction des feuilles est consommée en cas de diarrhée. De façon plus anecdotique, les feuilles du *Nauclea diderrichii* servent à la préparation de soupes (Mbelli,

2002 ; Addo-Danso et al., 2012 ; Rassimwai et al., 2015 ; Orwa et al., 2009). Elles sont également utilisées comme fourrage pour le bétail (Addo-Danso et al., 2012 ; Hallé, 1966). La pulpe des fruits de *N. diderrichii* est comestible et souvent réservée aux périodes de famine.

### **2.2.8. Phytochimie**

En se référant à la dureté du bois, la forte coloration et la haute solubilité des extraits de *Nauclea diderrichii* aux solvants organiques, Istas et al. (1954) ont montré que cette espèce produit une pâte peu recommandable pour la production de papier. Valentin et al. (2000) ont montré que des extraits de tige et feuille ne présentaient aucune activité antipaludéenne contre plusieurs souches de *Plasmodium falciparum*. Ils ont émis l'hypothèse que la plante aurait plutôt un effet sur les symptômes du paludisme que sur le parasite. L'activité antidiabétique de *N. diderrichii* a été confirmée par les travaux d' Agnani et al. (2016) et Akunne et al. (2017) qui ont mis en évidence la teneur élevée en composés phénoliques des extraits (feuilles, écorces). Ils ont également confirmé ses propriétés hypoglycémiantes qui constituent une source de médicaments bon marché et efficace pour les personnes ayant une glycémie élevée.

Di Giorgio et al. (2006) ainsi que Saha et al. (2011) ont confirmé l'activité antileishmanienne en mettant en exergue l'action inhibitrice des hétérosides de l'acide quinovique (saponines) et de l'acide cadambine (alcaloïdes) isolés de l'écorce de *N. diderrichii* contre *Leishmania infantum*, le parasite responsable des ulcères cutanés et viscéraux chez l'homme. Khan et al. (2017) ont mis en évidence le potentiel antibactérien et antifongique des extraits bruts d'écorce à travers l'action bactéricide des flavones contre divers microorganismes (*Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyrogenes*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae* et *Samonella typhi*) responsables des infections cutanées, génitales, pulmonaires et des intoxications alimentaires.

Sidiq et al. (2018) ont mis en exergue la richesse du contenu phénolique des extraits et l'importance de l'activité antioxydante de cette plante qui représente un bon candidat pour la recherche d'antioxydants naturels. Il existe potentiellement de nombreux principes actifs que des investigations futures pourraient révéler (Haudecoeur et al., 2018).

### **2.2.9. Aménagement forestier**

#### **2.2.9.1 Croissance diamétrique et mortalité des arbres adultes**

En Afrique centrale, peu d'études se sont focalisées sur la vitesse de croissance et ou la mortalité de *Nauclea diderrichii*. Au Cameroun, l'ONADEF (1992) propose un accroissement

moyen en diamètre de l'arbre égal à 0,4 cm/an. En RDC le PARPAF (2009) suggère la valeur de 0,5 cm/ mais ses méthodes et bases de calcul ne sont toutefois pas disponibles. Au Gabon, dans les formations sempervirentes dotées des dispositifs de suivi permanent, Picard et Gourlet-Fleury (2011) ont estimé le taux moyen de croissance de l'espèce à 0,45 cm/an. Comme démontré par Ligot et al. (2019), la croissance des arbres est fortement influencée par leur environnement.

### 2.2.9.2 Normes d'exploitation

Les normes et règles d'exploitation forestière appliquées en Afrique concernent notamment le diamètre minimum d'exploitabilité (DME) qui varie de 60 à 80 cm selon le pays (tableau 2) et le taux de reconstitution.

Tableau 2 : Diamètre minimum d'exploitabilité de *Nauclea diderrichii*.

Pays	DME	Source
Cameroun	80 cm	ONADEF, 1992
Gabon	80 cm	Loi n°016/01 du 31 décembre 2001 et revu le 1 mars 2004
Congo	60 cm	Décret n°2002-437 du 31 décembre 2002
Centrafrique	60 cm	Loi n° 90-003 portant code forestier du 9 juin 1999
République Démocratique du Congo	60 cm	Loi n° 11-2002 du 29 août 2002

D'après Durrieu De Madron et Forni (1997), le taux de reconstitution est la proportion de l'effectif exploitable au cours d'une rotation que l'on retrouvera lors de la rotation suivante. La rotation est le temps de repos entre deux passages de l'exploitation sur une même surface. Les exigences en termes de taux de reconstitution et rotation minimale varient également selon les pays. (Tableau 3).

Tableau 3 : Taux de reconstitution de *Nauclea diderrichii* en Afrique centrale.

Pays	% RE	Effectifs à reconstituer	Rotation	Source
Cameroun	50 %	04 classes > DME	30 ans	Loi 2006/002 du 25 avril 2006
Congo	50 %	Toutes classes > DME	25-30 ans	CNIAF et MEFE, 2005 ; FRMi, 2018a
	75 %			
Gabon	75 %	Toutes classes > DME	≥ 20 ans	République Gabonaise, 2014
	70 %			
	40 %			
RCA	50 %	Toutes classes > DME	25-35 ans	PARPAF, 2009
RDC	30 %	Toutes classes > DME	≥ 25 ans	Arrêté ministériel n° 034 du 03 juillet 2015
	50 %			

### 2.2.9.3 Tarif de cubage

Le tarif de cubage est une équation permettant d'estimer le volume brut d'un arbre sur la base de son diamètre et ou de sa hauteur. Sa validité tient compte du diamètre minimum des arbres, de la zone écologique et de la taille de l'échantillon. Le tableau 4 reprend les tarifs de cubage disponibles dans la littérature. Au Cameroun, le volume moyen de bilinga serait de 0,2 m<sup>3</sup>/ha. Il varie entre 0,1 m<sup>3</sup>/ha en forêt sempervirente et 0,5 m<sup>3</sup>/ha en forêt semi-décidue (MINFOF and FAO, 2005).

Tableau 4 : Quelques tarifs de cubage élaborés pour *Nauclea diderrichii* (Picard and Gourlet-Fleury, 2011 ; Henry et al., 2013).

Végétation	Pays	Volume	Référence
Forêt tropicale humide	Gabon	9.72*(DBH) <sup>2.46</sup>	Bile Allogho, 1999
Forêt humide subtropicale	Cameroun	0.000252*(DBH) <sup>2.279235</sup>	ONADEF
Forêt humide subtropicale	Gabon	8.853*(DBH) <sup>2.333</sup>	Ngabou, 2011

### 2.2.10. Statut de conservation et commerce

#### 2.2.10.1 Statut de conservation

Selon la liste rouge de l'IUCN, *Nauclea diderrichii* serait **Quasi menacée** ou « **NT** » sur base du critère « **A2cd** » (Annexe 1&2) (Hills, 2021), traduisant une diminution de la taille de sa population à la suite de la réduction de la zone d'occupation, de la qualité de l'habitat et une accélération de son exploitation (Sous-comité des normes et des pétitions de l'UICN, 2017)..

#### 2.2.10.2 Commerce

*Nauclea diderrichii* fait partie des principales espèces exploitées dans le secteur formel en Afrique centrale (De Wasseige *et al.*, 2014). Elle ne présente aucune restriction commerciale dans le cadre de la CITES (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora) (Gérard *et al.*, 2016) et est principalement commercialisé sous le nom bilinga (Meunier *et al.*, 2015). Le Cameroun en a exporté 31300 m<sup>3</sup> en 1997 contre 21300 m<sup>3</sup> en 2011, le Gabon 49500 m<sup>3</sup> en 2000 contre 25097 m<sup>3</sup> en 2009 et le Congo 22000 m<sup>3</sup> en 2004 contre 12753 m<sup>3</sup> en 2010 (Opuni-Frimpong and Opuni-Frimpong, 2012). FRMi (2018b) estime à 18 000 m<sup>3</sup> le volume de grume la production en Afrique centrale. Cela semble traduire une réduction des volumes produit au fil du temps.

La valeur FOB (free on board) du m<sup>3</sup> est en une moyenne de 253 €/m<sup>3</sup> (écart-type =23) pour les grumes et 518 €/m<sup>3</sup> (écart-type =22) pour les sciages (ITTO, 2021).

### **2.2.11 Lacunes des connaissances actuelles**

Les paragraphes précédents ont montré que de nombreuses connaissances sur l'écologie de l'espèce font toujours défaut. Les données relatives à la dynamique des populations, la biologie de reproduction, les modalités et conditions favorables pour une croissance optimale des plants de l'espèce sont extrêmement rares et/ou issues d'un nombre restreint de sites ou d'individus. En raison de la réputation de cette plante pour soulager de nombreuses infections, il serait intéressant de mener des travaux relatifs aux constituants actifs pour une valorisation optimale des différentes parties de la plante.

Afin de combler les insuffisances relatives aux patrons de reproduction de *Nauclea diderrichii* et leur influence sur la structure et la dynamique des populations de l'essence, des recherches approfondies utilisant des données plus robustes doivent être menées afin de permettre, *in fine*, d'aboutir à la gestion durable des populations de cette espèce.

## **3. DISPERSION DES GRAINES**

Une étude préliminaire des espèces animales impliquées dans la dispersion des graines de *Nauclea diderrichii* a été réalisée au Cameroun en 2017 et 2018.

### **3.1. MATÉRIEL ET MÉTHODES**

#### **3.1.1. Zone d'étude**

Les espèces animales potentiellement impliquées dans la dispersion des graines ont été étudiées dans deux sites (Figure 5).

##### **3.1.1.1. Concessions forestières de la Pallisco**

La concession forestière de la Pallisco situé à l'Est Cameroun, représente le premier site où s'est déroulé le suivi des disperseurs de *Nauclea diderrichii* du 08 août au 25 septembre 2017. Cette société forestière localisée entre la latitude 3°56' au nord de l'équateur et la longitude 13°40' à l'est de l'équateur exploite une surface de 388 949 ha de forêts tropicales de façon durable et respectant les normes établies par la Forest Stewardship Council (FSC) depuis 2008. Son relief moyennement accidenté présente une succession de collines aux pentes douces dont les dénivelés dépassent rarement 35 m. L'altitude de cette concession varie entre 650 m à 750 m (Pallisco and Nature+, 2008).

Ce massif forestier est composé d'une diversité faunique importante. La classe des mammifères la plus importante est constituée des céphalopodes suivis par l'ordre des primates au sein duquel certaines espèces à l'instar des gorilles et des chimpanzés sont intégralement protégés. Des buffles et des éléphants peuvent également être observés à certains endroits de la forêt, principalement le long des grands cours d'eau (Pallisco and Nature+, 2008).

### **3.1.1.2. Réserve de faune du Dja**

Le second site où s'est déroulé le suivi des disperseurs de *Nauclea diderrichii* est la réserve de Biosphère du Dja. Elle représente une des zones protégées les plus importantes du Cameroun qui fut créée en 1952. Sa superficie estimée à 526 000 ha de forêt située entre les latitudes 2°50' et 3°30' au Nord et les longitudes 12°20' et 13°40' à l'Est, s'étend sur les régions administratives de l'Est et du Sud Cameroun avec une altitude comprise entre 400-500 m. Cette réserve doit son nom à un important cours d'eau appelé 'Dja' qui lui sert de limite naturelle sur près de 75 % de son périmètre (Sonké and Kouob, 2001).

Le climat de la Réserve de Biosphère du Dja est de type équatorial avec quatre saisons. Une grande saison sèche qui se déroule du mois de novembre au mois de février et une petite saison sèche, du mois de juin au mois de juillet. La grande saison de pluies se déroule entre les mois d'août et d'octobre. La petite saison de pluies va du mois de mars au mois de mai. Les températures moyennes varient de 23,4 °C et 24,5 °C. Les précipitations sont abondantes toute l'année avec une moyenne annuelle supérieure à 1500 mm. D'après la classification faite par Köppen (Annexe 3), ces caractéristiques correspondent au climat tropical de savane avec hiver sec (AW) (Sonké, 1998).

Les formations végétales sont principalement constituées d'une forêt de transition entre les types sempervirents et semi-décidus. La végétation ligneuse est majoritairement composée de Fabacées, Annonacées et Olacacées (Réjou-Méchain *et al.*, 2021). Le sol est dominé par une texture argileuse dotée des nappes phréatiques très superficielles. La partie plus au nord est caractérisée par la présence des cuirasses ferrugineuses qui donnent naissance à des sols argilo-sablonneux plus secs et généralement fragiles et pauvres en éléments nutritifs.

Les communautés animales y contribuent de façon efficace au maintien de la physionomie et de la structure de la forêt grâce à la dissémination des graines qui peut, soit se dérouler sous une forme passive (épizoochorie) ou active (endozoochorie). Toutefois l'action de la grande faune à l'égard des éléphants peut produire de vastes chablis donc l'une des conséquences serait une baisse de la diversité du milieu. En revanche, de telles actions sont également bénéfiques pour les espèces héliophiles qui s'y trouvent à l'état de vie ralentie, attendant la réapparition des

conditions favorables à leur épanouissement. Il existe également des groupes d'espèces ayant une régénération limitée ou absente *in situ*. Cette régénération limitée peut également s'expliquer par des semenciers qui auraient l'aptitude de sécréter des substances toxiques. Dans ce cas précis, la régénération n'est possible que si les diaspores sont déplacées loin de la plante mère, le plus souvent grâce à l'action des animaux d'où toute l'importance qui doit être accordée à la gestion rationnelle de la faune (Sonké 1998).

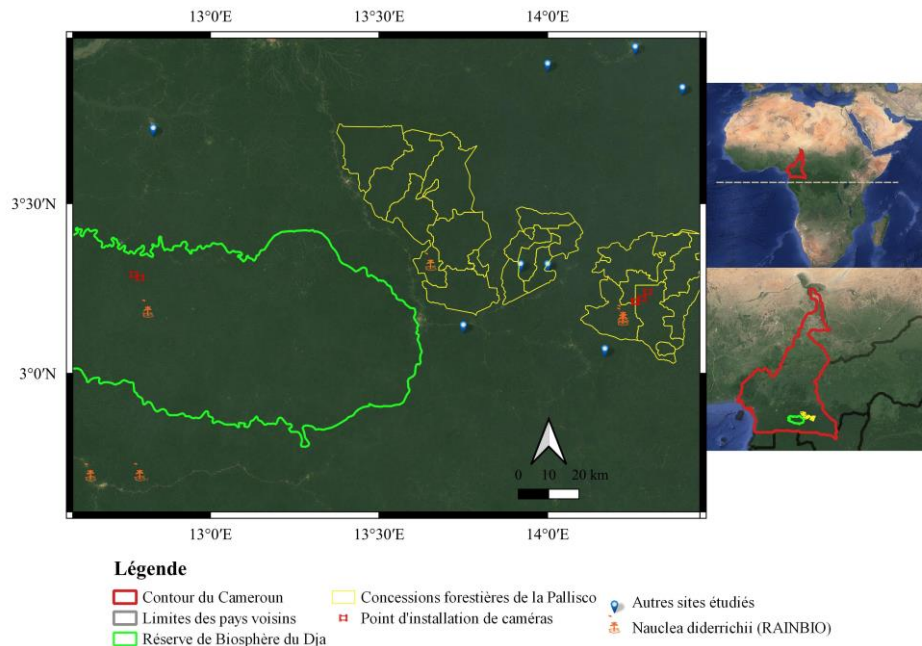


Figure 5 : Zone de suivi des disperseurs de graine de *Nauclea diderrichii* prospecté au Cameroun.

### 3.1.2. Collecte des données

Cinq semenciers de *N. diderrichii* possédant de nombreux fruits matures ont été équipés d'une caméra : trois dans la concession de la Pallisco du 08 aout 2017 au 25 septembre 2017 par Donatien ZÉBAZÉ et deux dans la Réserve de Biosphère du Dja du 30 juillet au 15 septembre 2018. L'une des caméras installées dans le Dja a été endommagée par les termites et finalement le nombre de caméras. jours de suivi par site a été de 47 dans le Dja et de 96 à Mindourou. Ces caméras de type Bushnell étaient équipées chacune d'une carte mémoire de 16 GB et paramétrées de façon à prendre des photos toutes les sept secondes avec un intervalle minimum de deux secondes. Elles étaient également déclenchées de façon automatique lors de la détection d'un mouvement. Des tas de fruits ont également été constitués afin de maximiser la probabilité de capture des différents animaux et un léger défrichage du sous-bois était réalisé.



### 3.1.3. Analyse des données

Le Logiciel Timelapse2 a été utilisé pour visualiser les images. Son interface personnalisée dispose d'une loupe et prend en charge la recherche visuelle via le panoramique et le zoom. Toutes les informations spécifiées sont enregistrées dans une table qui est exportée via un fichier Excel. Deux événements de détection ont été considérés comme étant indépendants lorsqu'ils étaient séparés de 30 minutes. Les taxons ont été identifiés grâce à plusieurs guides de faune (Sinclair and Ryan, 2003; Kingdon *et al.*, 2013).

Les taux relatifs à la détection ont été calculés par espèce et par site. L'animal a été considéré comme disperseur lorsqu'il était possible de l'observer en train de consommer des fruits (figure 6).



Figure 6 : Des animaux ingérant des fruits de *Nauclea diderrichii* a) *Cercocebus agilis*, b) *Philantomba monticola*.

## 3.2. RÉSULTATS

Dans les concessions de la Pallisco à Mindourou les trois pièges photographiques installés ont produit 258 évènements de détection. A l'issue de ces différents évènements de détection, un ensemble de 11 taxons relatifs aux disperseurs de *Nauclea diderrichii* ont été identifiés (Tableau 5). La grande majorité des animaux détectés étaient en train de consommer des fruits.

Tableau 5 : Liste des espèces identifiées au pied des semenciers en fruit de *Nauclea diderrichii* à Mindourou.

N°	Nom commun	Famille	Nom Scientifique	Statut IUCN
1	Athérure	Hystriidae	<i>Atherurus africanus</i> Gray, 1842	LC ; Hoffmann & Cox, 2016
2	Céphalophe bleu	Bovidae	<i>Philantomba monticola</i> (Thunberg, 1789)	LC ; Anonyme, 2016 <sub>a</sub>
3	Céphalophe de Peters		<i>Cephalophus callipygus</i> Peters, 1876	LC (CSE/IUCN, 2016
4	Complexe écureuil	Sciuridae	<i>Funisciurus isabella</i> (Gray, 1862)	LC ; Cassola, 2016 <sub>a</sub>
5			<i>Heliosciurus rufobrachium</i> (Waterhouse, 1842)	LC ; Anonyme, 2016 <sub>b</sub>
6	Genette	Viverridae	<i>Genetta servalina</i> Pucheran 1855	LC ; Gaubert et al., 2016

7	Mangabé agile	Cercopithecidae	<i>Cercocebus agilis</i> Milne-Edwards, 1886)	LC ; Anonyme, 2020
8	Petit rongeur	Muridae	<i>Deomys ferrugineus</i> Thomas, 1888	LC ; Schlitter & Kerbis, 2016
9	Pintade	Numididae	<i>Guttera plumifera</i> (Cassin, 1857)	LC ; Anonyme, 2016 <sub>c</sub>
10	Rat géant d'émin	Nesomyidae	<i>Cricetomys emini</i> Wroughton, 1910	LC ; Cassola, 2016 <sub>b</sub>
11	Tourtelette à tête bleu	Columbidae	<i>Turtur brehmeri</i> (Hartlaub, 1865)	LC ; BirdLife International, 2016

Le décompte des fréquences de capture des animaux a permis de faire le constat selon lequel *Philantomba monticola* serait un bon disperseur de graines de *Nauclea diderrichii* au regard de son taux de détection qui est le plus important. Il est directement suivi par une série de rongeurs, notamment : *Cricetomys emini*, *Atherurus africanus*, *Deomys ferrugineus* et *Heliosciurus rufobrachium* (figure 7). *Genetta servalina* a été la seule espèce qui n'a pas été détecté en train de consommer des fruits, elle rodait simplement au pied de l'un des semenciers équipés de caméra.

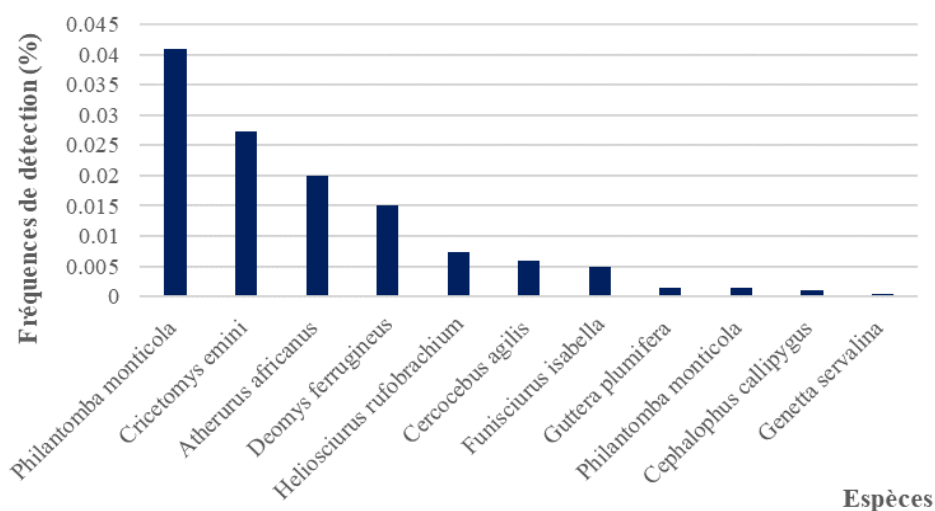


Figure 7 : Répartition de la fréquence des détections d'animaux consommant des fruits de *Nauclea diderrichii* à Mindourou.

Le résultat des observations faites par les pièges photographiques a révélé des espèces se déplaçant le plus souvent en cohorte. C'est notamment le cas de *Philantomba monticola*, *Cercocebus agilis* et de *Guttera plumifera*.

Dans la réserve du Dja, le seul piège photographique qui a été opérationnel a produit 186 évènements de détection. Ces évènements de détection ont permis l'identification de 12 taxons (Tableau 6) au pied du semencier de *Nauclea diderrichii* en fruit. Ces derniers étaient généralement pris en capture en train de fouiller ou de consommer des fruits.

Tableau 6 : Liste des taxons identifié dans la réserve du Dja et leur statut (IUCN, 2021).

N°	Nom commun	Famille	Nom Scientifique	Statut IUCN
1	Athérure	Hystriidae	<i>Atherurus africanus</i> Gray, 1842	LC ; Hoffmann & Cox, 2016
2	Céphalophe bleu	Bovidae	<i>Philantomba monticola</i> (Thunberg, 1789)	LC ; Anonyme, 2016 <sub>a</sub>
3	Complexe écureuil	Sciuridae	<i>Funisciurus isabella</i> (Gray, 1862)	LC ; Cassola, 2016 <sub>a</sub>
4			<i>Heliosciurus rufobrachium</i> (Waterhouse, 1842)	LC ; Anonyme, 2016 <sub>b</sub>
5	Genette	Viverridae	<i>Genetta maculata</i> (Gray, 1830)	LC ; Angelici & Do Linh, 2016
6	Mangabé agile	Cercopithecidae	<i>Cercocebus agilis</i> Milne-Edwards, 1886)	LC ; Anonyme, 2020
7	Mangouste	Herpestidae	<i>Bdeogale nigripes</i> Pucheran, 1855	LC ; Angelici & Do Linh, 2015
8	Nandinie	Nandiniidae	<i>Nandinia binotata</i> (Gray, 1830).	LC ; Gaubert et al., 2015
9	Petit rongeur	Muridae	<i>Deomys ferrugineus</i> Thomas, 1888	LC ; Schlitter & Kerbis, 2016
10	Pintade	Numididae	<i>Guttera plumifera</i> (Cassin, 1857)	LC ; Anonyme, 2016 <sub>c</sub>
11	Rat géant d'émin	Nesomyidae	<i>Cricetomys emini</i> Wroughton, 1910	LC ; Cassola, 2016 <sub>b</sub>
12	Tourtelette à tête bleu	Columbidae	<i>Turtur brehmeri</i> (Hartlaub, 1865)	LC ; BirdLife International, 2016

La fréquence de capture des animaux a été plus élevée chez les mammifères de l'ordre des Rongeurs avec des valeurs importantes chez *Funisciurus isabella* suivi par *Deomys ferrugineus*, *Atherurus africanus*, *Cricetomys emini* et *Heliosciurus rufobrachium* (figure 8) et certains disperseurs de graines de *Nauclea diderrichii* se déplacent préférentiellement en cohorte.

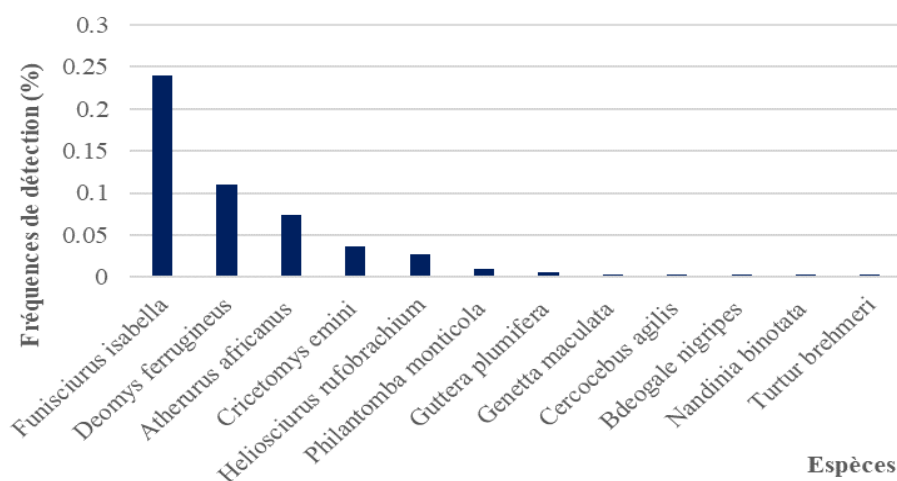


Figure 8 : Répartition de taux de détection des animaux capturés au pied d'un individus de *Nauclea diderrichii* en fruit dans la Réserve du Dja.

Dans le Dja, le seul piège photographique installé a permis d'identifier 11 disperseurs de graines de *N. diderrichii*. Les espèces se déplaçant le plus souvent en cohorte étaient constituées des *Guttera plumifera* (Figure 9).



Figure 9 : Cohorte de *Guttera plumifera* se nourrissant au pied d'un *Nauclea diderrichii* en fruit.

### 3.3. DISCUSSION

Les espèces les plus observées différaient en fonction des sites. A Mindourou, c'est le sous ordre des ruminants avec pour espèce phare *Philantomba monticola* qui a été la plus observée. Et dans le Dja, c'est plutôt l'ordre des Rongeurs avec à la clé *Funisciurus isabella* comme espèce la plus représentée (Figure 7 et 8). En raison de ces observations préliminaires nous pouvons estimer que *P. monticola* et *F. isabella* représentent les principaux disperseurs potentiels de *N. diderrichii* dans la zone. Pour les deux sites un total de 14 taxons a été identifié.

Très peu d'études ont également été consacrées à la dispersion des graines par les céphalophes. Alexandre (1982) a observé que *Cephalophus niger* pouvait disperser par endozoochorie de petites graines dont *Musanga cecropioides* dont les graines sont de taille similaire à celles de *N. diderrichii*. Selon Houngbegnon (comm. pers.) des graines de *N. diderrichii* ont effectivement été observées dans des crottes de céphalophe.

Les travaux sur le rôle des rongeurs dans les processus de dispersions des graines sont relativement peu documentés. La musculature de la mâchoire des rongeurs leur permet de briser la structure de protection des diaspores (Evrard et al., 2017). Ces auteurs classent *Cricetomys emini* Nesomyidae et *Deomys ferrugineus* Muridae au rang des vecteurs potentiels de la dispersion et de la prédation des graines de *Nauclea diderrichii*. Les petits rongeurs de la

famille des Muridae ne seraient pas sélectifs et préfèrent produire de nombreuses cachettes sous la couronne du semencier en fruit. Les rongeurs de grande taille tel que le rat d'émin (Nesomyidae) sont plus sélectifs et leurs aptitudes seraient influencées par les molécules volatiles émises par les fruits ou encore sa valeur nutritive (Gautier-Hion et al., 1985). Le rat d'Emin et le porc-épic sont également attirés par les odeurs fécales. Ils peuvent soit collecter directement les fruits sous l'arbre mère, prélever les excréments ou déplacer les cachettes des autres prédateurs et les dissimuler plus loin. Ils exercent ainsi un rôle important sur la dynamique des milieux naturels. Cependant, quand cette déprédation est importante, les espèces ayant pratiqué le « scatter-hoarding » procèdent à la relocalisation. Ce phénomène serait favorable à la dispersion des diaspores vue la probabilité de survie des diaspores qui augmenterait avec le risque de ne pas pouvoir retrouver sa cachette (Hirsch, Kays and Jansen, 2013).

Les travaux de Tchatat et al. (1999), Bhasin (2017) et Thiry et al., (2019) ont montré le rôle important que jouent les espèces arboricoles tels que : les petits singes, les oiseaux, les chauve-souris... dans la pollinisation et la dispersion des graines de plusieurs espèces de *Nauclea*. Considérant nos différents objectifs spécifiques, nous avons travaillé à différentes échelles afin d'établir une comparaison des disperseurs de graines de *Nauclea diderrichii*. Ainsi, la réserve de Biosphère du Dja a de ce fait été choisi comme notre milieu de référence en raison de sa qualité d'aire protégée justifiant son niveau de perturbation moindre comparé au massif forestier de la Pallisco de Mindourou situé à sa périphérie. L'intérêt était de pouvoir quantifier les différents disperseurs observés en fonction du degré de perturbation.

Des prospections plus approfondies prenant en comptes des observations de la cime des arbres permettraient d'améliorer les connaissances actuelles et de contribuer à une meilleure gestion et une exploitation de plus en plus adaptée à la préservation des espèces tropicales au sein des forêts concédées.

#### **4. IMPACT DE L'EXPLOITATION FORESTIÈRE SUR LES POPULATIONS DE *N. DIDERRICHII*.**

En vue de définir le statut de conservation de l'espèce il importe d'identifier les impacts de l'exploitation forestière sur ses populations.

## 4.1. MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 4.1.1. Sites d'études

Dix entreprises forestières distribuées à travers les forêts du bassin du Congo ont été sollicitées par le Laboratoire de Foresterie Tropicale de la Faculté de Gembloux Agro-Bio Tech, (Université de Liège) pour la collecte des informations relatives à la structure de populations de *N. diderrichii*. Ces entreprises totalisaient 42 Unités Forestières d'Aménagement (UFA) pour une superficie totale de 7 300 453 ha. Les données proviennent d'inventaires d'aménagement généralement réalisés à des voisins de 1 % pour des individus de diamètre (dhp, diamètre à 1,30 m)  $\geq 20$  cm. La figure 10 donne la localisation des sites étudiés. Ces différents sites sont répartis dans les types de végétations (Rejou-Mechain et al., 2021) repris dans le tableau 7.

Tableau 7 : Recapitulatifs des sites échantillonnées en fonction des types forestiers de Rejou-Mechain et al. (2021).

Pays	UFA	Type forestier	Source
Gabon	Rougier-Haut Abanga	Sempervirent atlantique	Comm. pers.
Gabon	DLH-Mboumi	Sempervirent atlantique	Sylvafrica (2008). INVENTAIRE D'AMENAGEMENT des concessions forestières de la Compagnie Forestière des Abeilles Lots ZACF 6, 8 et 9 ; PI 01/91 ; PFA 32/03 ; PI 02/96 ; PFA 44/04
Congo	Mokabi	Transition sur grès de carnot	Comm. pers.
Cameroun	SFID-UFA10056	Semi-décidu	Comm. pers.
Cameroun	SFID-UFA10038	Semi-décidu	Comm. pers.
Cameroun	UFA 10.010	Semi-décidu	Daïnou, K & Doucet, JL (2010). Evaluation de l'aménagement et l'état des populations des essences exploitées par le Groupe SEFAC UFA 10-008, 10-010, 10-012 et 10-064. Gembloux Agro-Bio Tech.
Cameroun	UFA 10.008	Semi-décidu	Daïnou, K & Doucet, JL (2010). Evaluation de l'aménagement et l'état des populations des essences exploitées par le Groupe SEFAC UFA 10-008, 10-010, 10-012 et 10-064. Gembloux Agro-Bio Tech.
Cameroun	UFA 10.012	Semi-décidu	Daïnou, K & Doucet, JL (2010). Evaluation de l'aménagement et l'état des populations des essences exploitées par le Groupe SEFAC UFA 10-008, 10-010, 10-012 et 10-064. Gembloux Agro-Bio Tech.

Cameroun	SIBAF UFA 10018	Semi-décidu	SIBAF (2004). Plan d'aménagement de l'UFA 10.018.
Cameroun	ALPICAM UFA 10026	Semi-décidu	Nature + asbl & Alpicam-Grumcam (2020a). Plan d'aménagement. Unité forestière d'aménagement n°10.026. Région de l'Est. Douala, Cameroun.
Cameroun	ALPICAM UFA 10051	Semi-décidu	Nature + asbl & Alpicam-Grumcam (2020b). Plan d'aménagement. Unité forestière d'aménagement n°10.051. Région de l'Est. Douala, Cameroun.
Cameroun	ALPICAM UFA 10056	Semi-décidu	Nature + asbl & Alpicam-Grumcam (2020c). Plan d'aménagement. Unité forestière d'aménagement n°10.053. Région de l'Est. Douala, Cameroun.
Congo	Kabo-CIB	Semi-décidu	Daïnou, K & Doucet, JL (2013). Évaluation de l'aménagement et l'état des populations des essences exploitées par la société Congolaise Industrielle des Bois (CIB – OLAM Congo)  Unités Forestières d'Aménagement de Pokola, Kabo et Loundoungou-Toukoulaka. Gembloux Agro-Bio Tech.
Congo	Pokola-CIB	Semi-décidu	Daïnou, K & Doucet, JL (2013). Évaluation de l'aménagement et l'état des populations des essences exploitées par la société Congolaise Industrielle des Bois (CIB – OLAM Congo)  Unités Forestières d'Aménagement de Pokola, Kabo et Loundoungou-Toukoulaka. Gembloux Agro-Bio Tech.
Congo	Loundoungou-CIB	Semi-décidu	Daïnou, K & Doucet, JL (2013). Évaluation de l'aménagement et l'état des populations des essences exploitées par la société Congolaise Industrielle des Bois (CIB – OLAM Congo)  Unités Forestières d'Aménagement de Pokola, Kabo et Loundoungou-Toukoulaka. Gembloux Agro-Bio Tech.
Congo	Toukoulaka-CIB	Semi-décidu	Daïnou, K & Doucet, JL (2013). Évaluation de l'aménagement et l'état des populations des essences exploitées par la société Congolaise Industrielle des Bois (CIB – OLAM Congo)

			Unités Forestières d'Aménagement de Pokola, Kabo et Loundoungou-Toukoulaka. Gembloux Agro-Bio Tech.
RCA	IFB-Ngotto	Semi-décidu	Comm. pers.
RCA	SCAF	Semi-décidu	Comm. pers.
Congo	Pikounda-CIB	Sempervirent central	Dainou, K & Doucet, JL (2013). Évaluation de l'aménagement et l'état des populations des essences exploitées par la société Congolaise Industrielle des Bois (CIB – OLAM Congo)  Unités Forestières d'Aménagement de Pokola, Kabo et Loundoungou-Toukoulaka. Gembloux Agro-Bio Tech.
Congo	IFO-Ngombé	Sempervirent central	Comm. pers.
RDC	CFT-36/04 Ubundu	Sempervirent central	Comm. pers.
RDC	SOFORMA - 02/03 Opala	Sempervirent central	Comm. pers.
Cameroun	UFA 10.021	Sempervirent mélangé	Form Ecology. (2007). Plan d'Aménagement Durable UFA 09-024. Douala
Cameroun	UFA 10.024	Sempervirent mélangé	Wijma (2007). Plan d'aménagement durable de l'UFA 10.024. Wijma, Douala.
Cameroun	UFA 09.022	Sempervirent mélangé	Wijma (2007). Plan d'aménagement durable de l'UFA 10.022. Wijma, Douala.
Gabon	CEB-PW-UFA 1	Sempervirent mélangé	Terea (2015). Plan d'Aménagement 2000 – 2024 Version révisée 2015. UFA 1-Bambidie. Libreville.
Gabon	CEB-PW-UFA 2	Sempervirent mélangé	Terea (2015). Plan d'Aménagement 2000 – 2024 Version révisée 2015. UFA 2-Okondja. Libreville.
Gabon	CEB-PW-UFA 3	Sempervirent mélangé	Terea (2015). Plan d'Aménagement 2000 – 2024 Version révisée 2015. UFA 3-Lélama. Libreville
Gabon	CFAD-SBL	Sempervirent mélangé	SBL (2003). Plan d'aménagement de la Concession Forestière sous Aménagement Durabme SBL/TRB. Libreville, Gabon
Gabon	Rougier-Ogooué Ivindo	Sempervirent mélangé	Comm. pers.
Gabon	Rougier-Léké	Sempervirent mélangé	Comm. pers.
Gabon	Rougier-Moyabi	Sempervirent mélangé	Comm. pers.
Gabon	OLAM-NGOUADI	Sempervirent mélangé	Nature + asbl & Olam Gabon (2014b). Plan d'aménagement. Concession forestière Ngouadi. Walhain Saint-Paul, Belgique.



Gabon	DLH-Biliba	Sempervirent mélangé	Sylvafrica (2008). INVENTAIRE D'AMENAGEMENT des concessions forestières de la Compagnie Forestière des Abeilles Lots ZACF 6, 8 et 9 ; PI 01/91 ; PFA 32/03 ; PI 02/96 ; PFA 44/03
Cameroun	UFA 11.005	Semi-décidu dégradé	Semereab, E & Philippart J. (2011). REVISION DE PLAN D'AMENAGEMENT : UNITE FORESTIERE D'AMENAGEMENT N° 09-021 (PROVINCE DU SUD - ARRONDISSEMENT DE MA'AN). Nature +.
Cameroun	SFID-UFA 09-007&09-008	Transition	Comm. pers.
Cameroun	SFID-Djourn	Transition	Comm. pers.
Cameroun	UFA10030-10031	Transition	Nature + et Pallisco (2012). Evaluation de l'état des populations des essences exploitées par la société Pallisco et des décisions prises en matière d'aménagement. Deuxième version. Douala
Cameroun	UFA 10039	Transition	Nature + et Pallisco (2012). Evaluation de l'état des populations des essences exploitées par la société Pallisco et des décisions prises en matière d'aménagement. Deuxième version. Douala
Cameroun	UFA 10041-42-44	Transition	Nature + et Pallisco (2012). Evaluation de l'état des populations des essences exploitées par la société Pallisco et des décisions prises en matière d'aménagement. Deuxième version. Douala
Cameroun	UFA 10047b	Transition	Bourland, N & Doucet, JL (2009). Evaluation de l'état des populations des essences exploitées par la société CAFECO SA et des décisions prises en matière d'aménagement, UFA 11-005. Gembloux Agro-Bio Tech.
Gabon	OLAM-MOUNIANDJI	Transition	Nature + asbl & Olam Gabon (2014a). Plan d'aménagement. Concession forestière Mouniandji. Walhain Saint-Paul, Belgique.

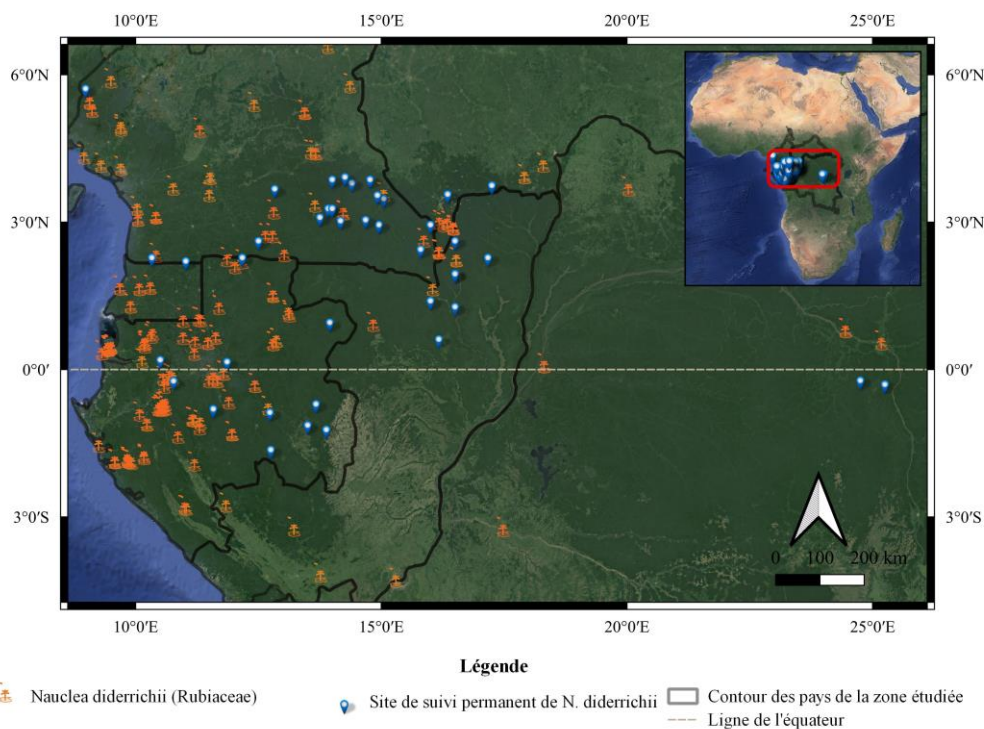


Figure 10: Limites de l'aire de répartition naturelle de *Nauclea diderrichii* dans la zone étudiée.

#### 4.1.2. Collecte et traitement de données

##### 4.1.2.1. Accroissement diamétrique chez *Nauclea diderrichii*

L'accroissement diamétrique moyenne annuel (AAM) de *N. diderrichii* a été évalué à partir d'un échantillon de 144 individus suivis entre 3 et 8 années consécutives pour toutes les classes de diamètre (Figure 8). Ces données proviennent du suivi effectué par le projet « Partenariat Public Privé pour gérer durablement les forêts d'Afrique Centrale P3FAC ([www.atibt.org/fr/projet/p3fac/](http://www.atibt.org/fr/projet/p3fac/)) et par Picart et Gourlet-Fleury (2011), Daïnou et al. (2007 et 2009). Le tableau 6 synthétise les informations disponibles. Les accroissements annuels moyens (AAM) ont été calculés comme suit :  $AAM = \frac{Dhp_{fin} - Dhp_{début}}{T}$  ; avec  $Dhp_{début}$  = diamètre initial de l'arbre (cm) ;  $Dhp_{fin}$  = diamètre final de l'arbre (cm) ;  $T$  = nombre de jours de suivi de l'arbre sur le sentier divisé par 365,25 (année julienne).

Tableau 8 : Synthèse des données d'accroissement en diamètre de *Nauclea diderrichii*.

Pays	Localité	Type_forestier	Classe_diamètre_cm	Effectif	Suivi (an)	Accr_moy
R. Congo	Loudoungou	Forêt semi-décidue	Toutes_classes	88	5	0.35
	Loudoungou		>=90	13		0.37
	Loudoungou		10-50	52		0.28
	Loudoungou		50-90	23		0.47
RCA	M'Baïki		Toutes_classes	4	4	0.41

<b>Gabon</b>	Biliba	Forêt sempervirente	10-50	9	8	0.30
	Lastourville		10-50	37	3	0.38
	Lastourville		Toutes_classes	43		0.36

La valeur de l'accroissement annuel moyen a été pondérée sur le total des individus de *N. diderrichii*. La valeur moyenne pondérée de l'écart-type a été calculée à partir de la moyenne quadratique pondérée sur les effectifs suivant la formule précédente (Hayes and Agler, 2013). Afin de quantifier la fiabilité de l'AAM pondéré qui a été utilisé, l'intervalle de confiance (IC) a été déterminé avec un niveau de confiance de 95 %.

#### 4.1.2.2. Structure des populations

La structure de population (nombre de pieds par classe de diamètre) a été dressée pour tous les sites confondus et par type de végétation. Les structures de populations permettent généralement de déterminer si l'espèce se régénère bien (allure de la courbe décroissante avec de nombreuses tiges de faible diamètre) ou si elle est confrontée à un déficit de régénération (allure gaussienne). Un test khi<sup>2</sup> a été utilisé pour comparer les structures de population entre les types forestiers répertoriés.

#### 4.1.2.3. Taux de reconstitution

Le calcul du taux de reconstitution de *N. diderrichii* a été effectué en considérant trois durées de rotations (20, 25 et 30 ans) et 4 valeurs de DME (60 à 70, 80 ou à 90 cm) La formule simplifiée de Durrie de Madron et Forni (XX) a été utilisée :

$$\%RE = 100 \frac{N_0(1 - \delta)] (1 - \alpha)^T}{N_p} ;$$

Avec %RE : pourcentage de reconstitution du nombre de tiges initialement exploitables ;  $N_0$  : effectifs des classes de diamètre immédiatement en dessous du DME ;  $N_p$  : nombre de tiges de diamètre supérieur au DME ;  $\alpha$  : taux de mortalité annuelle ;  $\delta$  : taux de dégâts dû à l'exploitation ;  $T$  : temps de rotation.

L'effectif  $N_0$  a été calculé à partir du  $D_{bi}$

$$D_{bi} = DME - AMM * T$$

$D_{bi}$  : diamètre à partir duquel les arbres passeront le DME après T années ;

**AAM** = accroissement diamétrique annuel moyen.

Le taux de dégâts dû à l'exploitation et la mortalité naturelle ont été fixés sur base des recommandations de Picard et Gourlet-Fleury (2011) avec des valeurs respectives de 7 % et 1%.

## 4.2. RÉSULTATS

### 4.2.1. Abondance de *Nauclea diderrichii*

La densité moyenne de *N. diderrichii* observée, tous sites confondus ont été de 0,25 pieds (dhp  $\geq 20$  cm) par hectare. Elle est plus élevée en forêt sempervirente (0,23-0,51) qu'en forêt semi-décidue (0,10-0,18). En forêt Semi-décidue dégradée, la plus faible densité observée se justifierait par le nombre limité des observations dans ce type forestier (Tableau 9).

Tableau 9: Densité de *Nauclea diderrichii* au sein des différents types forestiers inventoriés.

Type forestier	Nombre UFA	Moyenne	Ecart-type
Semi-décidu	15	0,18	0,07
Semi-décidu dégradé	1	0,10	
Sempervirent atlantique	2	0,51	0,09
Sempervirent central	4	0,23	0,14
Sempervirent mélangé	12	0,31	0,11
Transition	7	0,27	0,08
Transition sur grès de carnot	1	0,15	
<b>Total général</b>	<b>42</b>	<b>0,25</b>	<b>0,12</b>

### 4.2.2. Accroissement en diamètre chez *Nauclea diderrichii*

Les données de suivi de la croissance de 144 individus de *N. diderrichii* pendant 3 à 8 années ont permis de générer un accroissement moyen pondéré de 0,35 cm. La plage de valeurs plausibles dans laquelle se trouvait la vraie valeur d'accroissement avec un niveau de confiance de 95 % était compris entre 0,29 cm/an et 0,40 cm/an et la p-valeur bilatérale était égale à 0.01

### 4.2.3. Structures de populations

La structure diamétrique globale des populations de *N. diderrichii* (Figure 11) a mis en évidence une abondance élevée des individus dans les classes de faible diamètre.

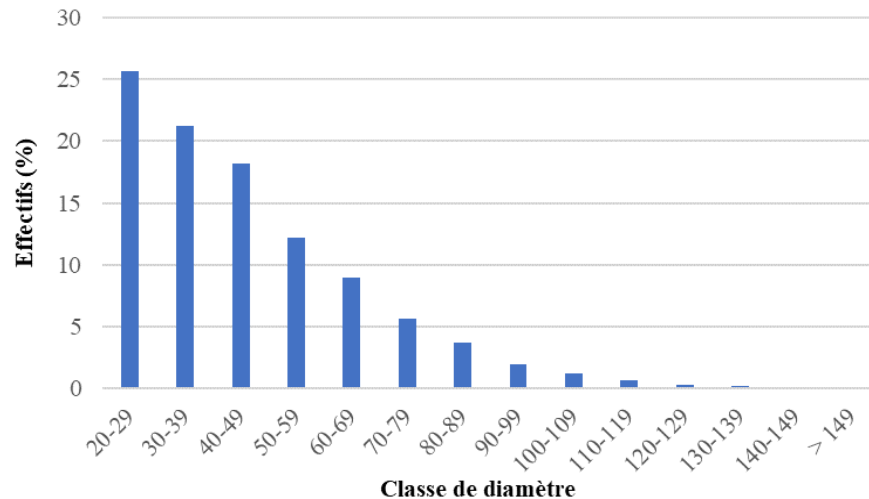


Figure 11 : Structure globale des populations de *Nauclea diderrichii*.

Une analyse détaillée de la structure des populations de *Nauclea diderrichii* suivant les types forestiers définis par Réjou-Méchain *et al.* (2021) (Figure 12) a mis en évidence une densité plus importante des tiges au sein des formations sempervirentes atlantiques (type 3) et des formations sempervirentes mélangées. Ces formations sont plus proches de la bordure côtière et représenter le ¼ du total des sites inventoriés. D'autres sites caractéristiques des formations semi décidues dégradées de type 9 et des forêts sempervirentes centrales présentent une allure en succession de cloche. Les classes de diamètre compris entre 70 et 90 cm sont plus importantes en effectif. De telles structures indiquent une faible régénération de l'espèce. Elles indiquent également une régression avancée de la forêt à grande échelle.

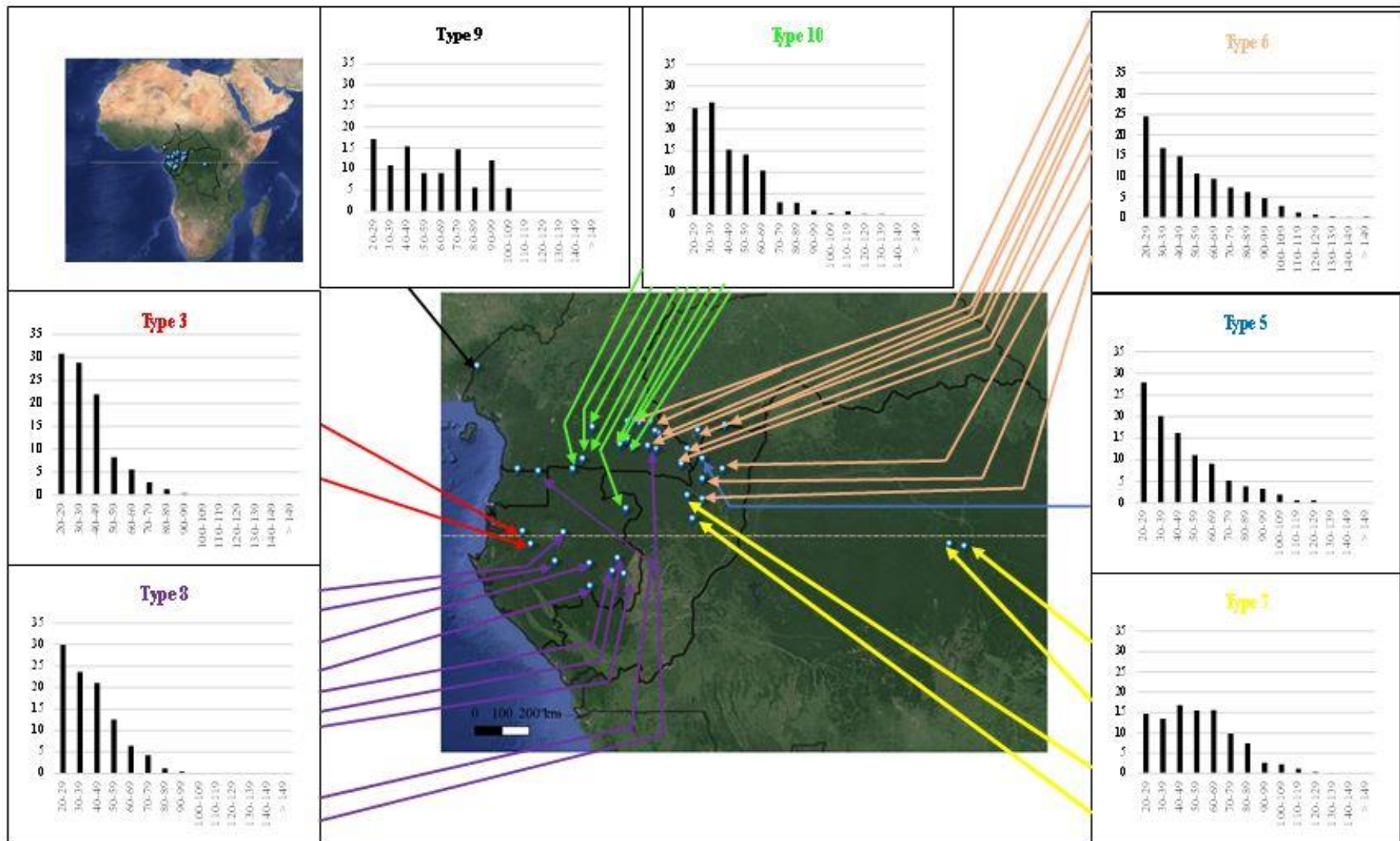


Figure 12 : Structures diamétriques de *Nauclea diderrichii* selon les différents types forestiers rencontrés dans la zone d'étude.

Pour chacune des structures, l'axe des X est représenté par 13 classes diamétriques comprises entre [20 cm et 149 cm [, avec une amplitude de 10 dans chaque classe. L'axe des Y est représenté par la fréquence en pourcentage des individus.

Les structures de populations de *Nauclea diderrichii* diffèrent significativement entre les types forestiers.  $\chi^2$  a été de 205980.1 avec une 'P- valeur' de  $2.10^{-16}$ . La figure 13 met en évidence des proportions d'individus de faible diamètre plus importantes dans les forêts sempervirentes proches de l'océan (types 3 et 8) que dans les autres types forestiers de l'étude.

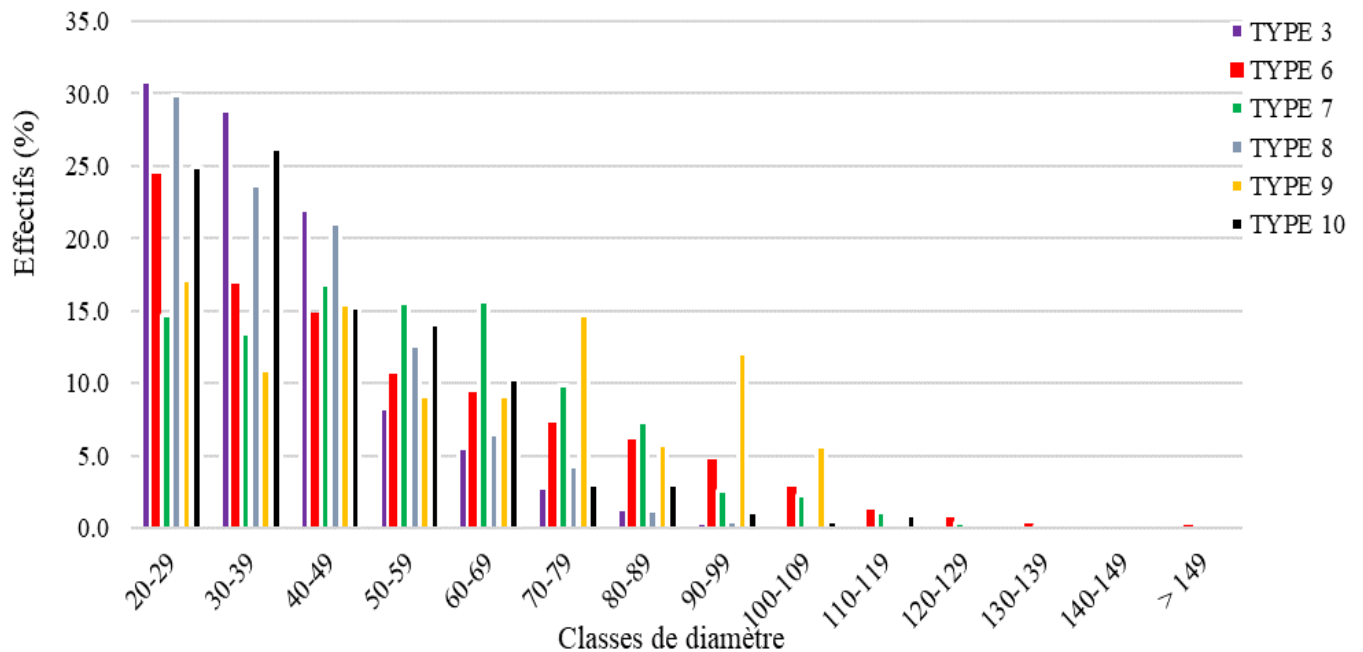


Figure 13 : Structure de population de *Nauclea diderrichii* pour chaque type forestier de l'étude.

#### 4.2.3. Taux de reconstitution

Le tableau 10 donne les estimations de taux de reconstitution pour l'ensemble des UFA étudiées. Pour une rotation de 25 ans, correspondant à la rotation moyenne en Afrique centrale, le taux varie de 34 à 53 %.

Tableau 10 : Taux de reconstitution global combinant le temps de rotation et le DME.

DME	Temps de rotation		
	20 ans	25 ans	30 ans
60 cm	28,8 %	34,2 %	39,9 %
70 cm	34,7 %	41,3 %	47,9 %
80 cm	37,1 %	44,2 %	51,8 %
90 cm	44,4 %	52,7 %	61,7 %

Le tableau 11 présente des estimations du taux de reconstitution de *Nauclea diderrichii* soumis à un coefficient d'exploitation de 70 %.

Tableau 11 : Taux de reconstitution global combinant le temps de rotation et le DME (coefficient d'exploitation de 70 %).

DME	Temps de rotation		
	20 ans	25 ans	30 ans
<b>60 cm</b>	41.1 %	48.8 %	57.0 %
<b>70 cm</b>	49.6 %	59.0 %	68.5 %
<b>80 cm</b>	53.1 %	63.1 %	74.0 %
<b>90 cm</b>	63.4 %	75.3 %	88.1 %

Au sein des formations végétales de type sempervirent atlantique, les taux de reconstitution de *Nauclea diderrichii* varient entre 28,8 et 240,3 3% (Tableau 12). L'exploitation forestière y est soutenue pour la grande majorité des cas. Il est même évident qu'en seconde rotation ces taux de reconstitution restent meilleurs. Toutefois, au Congo, pour satisfaire les exigences légales de 75 % de reconstitution, il faudra relever le DME pour un DMA de 70 cm ou procéder à une réduction de l'intensité des populations pour assurer une gestion durable de celle-ci.

Tableau 12 : Taux de reconstitution de *Nauclea diderrichii* dans les formations sempervirentes atlantiques.

DME	Temps de rotation		
	20 ans	25 ans	30 ans
<b>60 cm</b>	43,6 %	51,9 %	63,9 %
<b>70 cm</b>	65,2 %	77,5 %	90,5 %
<b>80 cm</b>	88,4 %	105,1 %	125,5 %
<b>90 cm</b>	167,6 %	199,3 %	240,3 %

Le tableau 12 donne des estimations du taux de reconstitution de *Nauclea diderrichii* dans les formations Semi-décidues. De façon générale, il varie entre 17,1 et 43,7 %. Face aux exigences légales des pays, l'exploitation de *Nauclea diderrichii* n'est pas durable. Pour l'ensemble des pays. Néanmoins, au Gabon en relevant de DME de 80 cm pour un DMA de 90 cm et en modifiant la rotation pour un temps plus long, Le seuil des 40 % de reconstitution pourrait être atteint. Puis les prévisions faites l'estiment à 43,7 %. Toutefois, Il faut procéder à aux pratiques sylvicoles de régénération assistée pour enrichir la disponibilité future des stocks.

Tableau 13 : Taux de reconstitution de *Nauclea diderrichii* dans les formations Semi-décidues.



<b>Temps de rotation</b>			
<b>DME</b>	<b>20 ans</b>	<b>25 ans</b>	<b>30 ans</b>
<b>60 cm</b>	17,1 %	20,4 %	23,7 %
<b>70 cm</b>	20,9 %	24,8 %	28,5 %
<b>80 cm</b>	23,6 %	28,1 %	32,5 %
<b>90 cm</b>	31,9 %	37,9 %	43,7 %

Le tableau 14 donne des estimations du taux de reconstitution de *Nauclea diderrichii* en forêt sempervirente centrale. Face aux exigences légales des pays, l'exploitation de l'espèce est soutenue au Cameroun. Au Gabon, en RDC et en RCA et au Congo, il faudra refaire les calculs en relevant le DME jusqu'à atteindre des taux recommandés.

Tableau 14 : Taux de reconstitution de *Nauclea diderrichii* en forêt sempervirente centrale.

<b>Temps de rotation</b>			
<b>DME</b>	<b>20 ans</b>	<b>25 ans</b>	<b>30 ans</b>
<b>60 cm</b>	21,0 %	24,9 %	28,5 %
<b>70 cm</b>	34,9 %	41,5 %	47,3 %
<b>80 cm</b>	37,5 %	44,6 %	52,3 %
<b>90 cm</b>	59,8 %	71,1 %	82,4 %

D'après le tableau 15, la disponibilité des stocks exploitables au bout d'une première rotation dans le type transition sur grès de carnot est traduit par une gestion soutenue de l'espèce qui pourrait se prêter à des conditions d'exploitation plus abondantes. Toutefois, même si les taux de reconstitution sont respectés et bien au-delà des normes exigées, dans certains cas, la réduction rapide du stock exploitable peut être constatée sur le long terme et entraver la durabilité des populations ainsi que la rentabilité de l'activité économique.

Tableau 15 : Taux de reconstitution de *Nauclea diderrichii* dans les formations de type transition sur grès de carnot

<b>Temps de rotation</b>			
<b>DME</b>	<b>20 ans</b>	<b>25 ans</b>	<b>30 ans</b>
<b>60 cm</b>	52,4 %	62,2 %	73,3 %
<b>70 cm</b>	54,2 %	64,4 %	76,8 %

<b>80 cm</b>	110,5 %	131,4 %	153,5 %
<b>90 cm</b>	87,1 %	103,6 %	131,4 %

En forêt semi décidue dégradée (Tableau 16), Le taux de reconstitution des populations de *Nauclea diderrichii* varient entre 10,3 % et 44,6 %. On assiste à une diminution drastique des stocks au bout de la première rotation. Aucune norme légale n'est respectée. Une sylviculture intensive notamment la régénération assistée peut accroître la densité de population des arbres dans l'avenir.

Tableau 16 : Taux de reconstitution de *Nauclea diderrichii* en forêt semi-décidue dégradée.

<b>DME</b>	<b>Temps de rotation</b>		
	<b>20 ans</b>	<b>25 ans</b>	<b>30 ans</b>
<b>60 cm</b>	10,3 %	12,2 %	14,4 %
<b>70 cm</b>	12,7 %	15,1 %	17,2 %
<b>80 cm</b>	33,5 %	39,8 %	44,6 %
<b>90 cm</b>	17,2 %	20,5 %	25,1 %

Le tableau 17 donne des estimations du taux de reconstitution des espèces dans les transitions forestières. De façon générale, il varie entre 25,6 et 81,6 %. Face aux seuils établis par les pays, l'exploitation de *Nauclea diderrichii* est durable en RCA, et au Congo pour ce type forestier. Cependant, au Cameroun, au Gabon et en RDC, on assiste à une réduction des stocks exploitables au bout de la première rotation. Pour satisfaire les exigences légales de ces pays, on peut soit revoir les intensités de coupe ou proposer des diamètres minimums d'aménagement (DMA) moins contraignants. L'effet positif de l'exploitation forestière, qui devrait favoriser la régénération naturelle du bilinga est insuffisant. Ceci pourrait s'expliquer par un taux de recrutement faible pour pouvoir assurer une exploitation soutenue. La préservation de l'espèce peut aller jusqu' l'interdiction de son exploitation.

Tableau 17 : Taux de reconstitution de *Nauclea diderrichii* en zone de transition dans les formations semi-décidues

<b>DME</b>	<b>Temps de rotation</b>		
	<b>20 ans</b>	<b>25 ans</b>	<b>30 ans</b>
<b>60 cm</b>	38,2 %	45,4 %	52,0 %
<b>70 cm</b>	59,1 %	70,3 %	81,6 %

<b>80 cm</b>	25,6 %	30,4 %	38,7 %
<b>90 cm</b>	48,3 %	57,5 %	65,6 %

D'après le tableau 18, la disponibilité des stocks exploitables au bout d'une première rotation est traduite par une gestion soutenue de l'espèce qui pourrait se prêter à des conditions d'exploitation plus abondantes. Toutefois, même si les taux de reconstitution sont respectés et bien au-delà des exigences légales, dans certains cas, la réduction rapide du stock exploitable peut être constatée sur le long terme et entraver la durabilité des populations ainsi que la rentabilité de l'activité économique

Tableau 18 : Taux de reconstitution de *Nauclea diderrichii* en zone de transition dans les formations sempervirentes mélangées.

<b>DME</b>	<b>Temps de rotation</b>		
	<b>20 ans</b>	<b>25 ans</b>	<b>30 ans</b>
<b>60 cm</b>	52.4 %	62.2 %	73.3 %
<b>70 cm</b>	54.2 %	64.4 %	76.8 %
<b>80 cm</b>	110.5 %	131.4 %	153.5 %
<b>90 cm</b>	87.1 %	103.6 %	131.4 %

### 4.3. DISCUSSION

Avec une densité moyenne de 0,25 pieds par hectare, *Nauclea diderrichii* ne peut pas être considérée comme une espèce rare. Cette densité est supérieure à la valeur seuil de 0,03 tige/ha proposé par Schulze et al. (2008) et Dainou et al. (2016)

Bien que l'accroissement moyen annuel pondéré de 0.35 cm/an utilisé corresponde au mieux à l'accroissement annuel moyen de *N. diderrichii* dans la zone étudiée, on peut également affirmer avec un niveau de confiance de 95 % que l'accroissement moyen annuelle des individus de *N. diderrichii* dans la sous-région est en général proche de 0.35 cm/an au regard de la plage de valeur plausible à laquelle elle appartient.

La structure de la population globale est aussi favorable avec une grande abondance de pieds de faibles diamètres. Sa régénération paraît assurée sur le long terme. Néanmoins, des différences ont été observées en fonction des types forestiers et globalement la régénération semble meilleure dans les formations sempervirentes proches de l'océan. Cela pourrait éventuellement

s'expliquer par le fait que, les concessions proches de la côte bénéficient à la fois des infrastructures de transport, de transformation qui contribueraient à une exportation de bois plus abondante (Wilson, 2013) et seraient les plus affectée par l'exploitation. Toutefois, à travers son tempérament héliophile, *Nauclea diderrichii* réagirait positivement à l'ouverture de la canopée faisant suite aux activités d'exploitation. Gourlet-Fleury *et al.* (2013) ont montré que de telles perturbations seraient favorables au recrutement des semis préexistants et stimuleraient la régénération et à l'inverse, la forêt sempervirente centrale serait moins exploitée en raison de son éloignement des zones portuaires.

Comme les DME fixés par les états d'Afrique centrale sont supérieurs aux diamètres de fructification régulière (DFR). L'impact de l'exploitation sera limité sur la population de semenciers. Toutefois, face au rythme de croissance de l'espèce qui est relativement assez faible, les taux de reconstitution sont globalement faibles à l'issue de la première rotation. Néanmoins, l'exploitation forestière ne prélève jamais l'intégralité des pieds dans une assiette annuelle de coupe. Ceci justifie le fait que l'on n'atteindra presque pas un coefficient d'exploitation égal 100 %. Pour un coefficient d'exploitation estimé à 70 % avec un DME de 70 cm et une rotation de 25 années, ce qui représente les conditions moyennes du niveau de l'Afrique centrale, le taux de reconstitution des effectifs exploitables serait de 59 %.

Selon les critères de l'IUCN, un espèce peut être considérée comme vulnérable si la réduction de sa population est d'au moins 30 % sur un maximum de 100 ans en se basant sur (i) un indice d'abondance adapté aux taxons, (ii) la réduction de la zone d'occupation, de la zone d'occurrence et/ou de la qualité de l'habitat, (iii) les niveaux d'exploitation réels ou potentiels et (iv) les effets de taxons introduits, de l'hybridation, d'agents pathogènes, de substances polluantes, d'espèces concurrentes ou parasites (Critère A3, **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** ; UICN, 2001). Dans le cas présent, bien que des simulations sur le plus long terme soient nécessaires, il nous paraît peu probable que ce niveau soit atteint. Toutefois, pour s'en assurer des données plus robustes sur la croissance, la mortalité naturelle et le recrutement sont nécessaires afin de produire des modèles de la dynamique des populations de *Nauclea diderrichii* qui seraient plus proche de la réalité.

## 5. CONCLUSION ET PERSPECTIVE

La présente étude montre que *Nauclea diderrichii* est une espèce ligneuse relativement bien documentée pour les aspects qui traitent de : la botanique, l'ethnobotanique, l'anatomie et propriétés technologiques du bois. En revanche, les informations demeurent lacunaires sur son

écologie et sur les impacts de l'exploitation forestière pour ses populations. Notre étude a tenté d'y remédier partiellement en abordant la dispersion des graines et en simulant l'impact de l'exploitation sur la durée d'une rotation.

Le piégeage photographique représente une méthode d'inventaire non invasive et efficace pour le suivi des disperseurs voire la surveillance de la faune dans les forêts tropicales. Bien que le processus de détection des espèces soit influencé par plusieurs facteurs, cette technique d'inventaire fournit une stratégie d'échantillonnage plus robuste. Elle a permis d'identifier un ensemble de 14 taxons comme étant des disperseurs potentiels de *Nauclea diderrichii*. *Philantomba monticola* est vraisemblablement le meilleur disperseur terrestre de l'espèce au regard des taux de détection de celui-ci consommant et de l'intensité des captures qui donnent une idée sur l'abondance de sa population. Toutefois, le rôle des rongeurs par la pratique du scatter hoarding ne serait pas à négliger. Néanmoins, davantage d'observations sont nécessaires avant de conclure. Il importe de multiplier les sites d'études, les durées de suivi et de faire des observations également directement dans la cime des arbres. Il n'est en effet pas exclu que les primates arboricoles et les chauves-souris jouent également un rôle déterminant.

Le statut de conservation de *Nauclea diderrichii* a été récemment revu par l'IUCN. Il a été rétrogradé de la catégorie VU (vulnérable) à la catégorie NT (near threatened). A travers cette classification, l'IUCN suggère que l'espèce ne fait pas partie d'une catégorie considérée comme menacée mais pourrait l'être dans un avenir proche. Cette révision nous paraît pertinente même si des simulations sur le plus long terme seraient nécessaires.

Nous suggérons donc que des études similaires soient menées par type forestier en utilisant des valeurs robustes de croissance, de mortalité et de recrutement. Pour cela le suivi sur le long terme des dispositifs de terrain de type P3FAC est cruciale.

## BIBLIOGRAPHIE

- Addo-Danso, S. D. *et al.* (2012) 'Survival and growth of *nauclea diderrichii* and *pericopsis elata* in monoculture and mixed-species plots in Ghana', *Journal of Tropical Forest Science*, 24(1), pp. 37–45.
- Adomou, A. *et al.* (2012) 'Etude Ethnobotanique des plantes médicinales vendues dans le marché d'Abomey-Calavi au Bénin', *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6(2), pp. 745–772. doi: 10.4314/ijbcs.v6i2.18.
- Agnaniet, H. *et al.* (2016) 'Antidiabetic potential of two medicinal plants used in Gabonese folk medicine', *BMC Complementary and Alternative Medicine*. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 16(1). doi: 10.1186/s12906-016-1052-x.
- Akunne, T. C. *et al.* (2017) 'Antidiabetic Activity and Toxicological Evaluation of the Methanol-Dichloromethane Root Bark Extract of *Nauclea Diderrichii* (De Wild) Merr', *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 9(9), p. 279. doi: 10.22159/ijpps.2017v9i9.20556.
- Bawa, K. S. (1990) 'Plant-pollinator interactions in tropical rain forests', *Annual Review of Ecology and Systematics*, 21(1), pp. 399–422. doi: 10.1146/annurev.es.21.110190.002151.
- Bhasin, O. *et al.* (2017) 'Identification of Animal Interactions with *Nauclea orientalis* along the Kinabatangan River, Sabah (Malaysia): Highlighting the Proboscis Monkey's (*Nasalis larvatus*) Role in Seed Dispersal', *Folia Primatologica*, 88(2), p. 96.
- Bhasin, O. (2017) *Identification of Animal Interactions with Nauclea orientalis along the Kinabatangan River, Sabah (Malaysia): Highlighting the Proboscis Monkey's (Nasalis larvatus) Role in Seed Dispersal*, *Folia Primatologica*. Université Libre de Bruxelles.
- Biwolé, A. B. (2015) 'Origine et dynamique des populations d'arbres des forêts denses humides d'Afrique Centrale, le cas de *Lophira alata* Banks ex Gaertn C.F. (Ochnaceae) Achille B. Biwolé', p. 116. doi: 10.1111/j.1467-856X.2004.00161.x.
- Bosu, P. P. *et al.* (2013) 'Survival, Growth and &lt;i>Orygmophora mediofoveata&lt;/i>; Shoot Borer Attack of &lt;i>Nauclea diderrichii&lt;/i>; Progenies Established in Three Ecological Zones in Ghana', *Open Journal of Forestry*, 03(04), pp. 152–158. doi: 10.4236/ojf.2013.34023.
- Bosu, P. P., Acquah, E. and Boamah, R. O. (2017) 'Evaluation of four insecticides to protect *Nauclea diderrichii* (Rubiaceae) seedlings against *Orygmophora mediofoveata* (Lepidoptera: Noctuidae) shoot borer damage', *International Journal of Tropical Insect Science*, 38(1), pp. 39–45. doi: 10.1017/S1742758417000236.
- Bourland, N. (2013) 'Dynamique d'une espèce ligneuse héliophile longévive dans un monde changeant : le cas de *Pericopsis elata* (Harms) Meeuwen (Fabaceae) au sud est du Cameroun'. Available at: <https://orbi.uliege.be/handle/2268/159244> (Accessed: 12 August 2020).
- C. Chatelain, B. Kadjo, I. K. et J. R. (2001) *Relations Faune - Flore dans le Parc National de Taï : une étude bibliographique*. Abidjan, Côte d'Ivoire: Programme Tropenbos–Côte d'Ivoire.
- Caraglio, Y. (2003) 'Les fourmis dans les forêts tropicales', *Revue Forestiere Francaise*, 55(SPEC. ISS.), pp.

188–194. doi: 10.4267/2042/5771.

Chevalier, A. (1938) 'Note sur quelques Sarcocephalus africains.', *Revue de botanique appliquée et d'agriculture coloniale*, 18(199), pp. 176–190. doi: 10.3406/jatba.1938.5840.

CNIAF and MEFE (2005) *Normes nationales d'inventaire d'aménagement forestier en république du Congo*. Brazzaville: Ministère de l'économie forestière et de l'environnement, République du Congo.

Dainou, K. *et al.* (2016) *Hautes Valeurs de Conservation (HVC) dans les Unités Forestières d'Aménagement du Cameroun : concepts, choix et pratiques*. Belgique: Les presses agronomiques de Gembloux. Available at: [https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=q4IKDQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&ots=hMdjhrJxs6&sig=DLfRxZITbLfOILBrMMOZ\\_\\_jHHrk#v=onepage&q&f=false](https://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=q4IKDQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&ots=hMdjhrJxs6&sig=DLfRxZITbLfOILBrMMOZ__jHHrk#v=onepage&q&f=false) (Accessed: 20 September 2020).

Doucet, J.-L. (2003) 'L'alliance délicate de la gestion forestière et de la biodiversité dans les forêts du centre du Gabon. Thèse de doctorat, Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux', p. 99.

Doucet, J.-L., Ntchandi Otimbo, P.-A. and Boubady, A.-G. (2004) 'Comment assister la régénération naturelle de l'okoumé dans les concessions forestières?', *Bois et forêts des tropiques*, 279(1), pp. 59–71.

Doucet, J. L. *et al.* (2016) 'Enrichment of Central African logged forests with high-value tree species: testing a new approach to regenerating degraded forests', *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management*, 12(1–2), pp. 83–95. doi: 10.1080/21513732.2016.1168868.

Douh, C. *et al.* (2018) 'Soil seed bank characteristics in two central African forest types and implications for forest restoration', *Forest Ecology and Management*. Elsevier, 409(February), pp. 766–776. doi: 10.1016/j.foreco.2017.12.012.

Dupuy, B. (1998) *Bases pour une sylviculture en forêt dense tropicale humide africaine*. Montpellier cedex 1 France.

Dupuy, B. and Mille, G. (1993) *Timber plantations in the humid tropics of Africa*, *FAO Forestry paper*. Available at: <http://www.fao.org/docrep/016/t0404e/t0404e00.pdf>.

Durrieu De Madron L. and Forni E. (1997) 'Aménagement forestier dans l'Est du Cameroun', *Bois et forêts des tropiques*. Bois et Forêts des Tropiques, 254(4), p. 12.

Ebobo, C. *et al.* (no date) 'Leçons d'éducation environnementale développées pour les villages aux alentours du Parc National de Nouabalé-Ndoki ( PNNN ) au nord de la République du Congo dans le Tri National de la Sangha ( TNS )'.

Eidt, D. C. (1965) 'Description of the Larva of *Orygmophora mediofoveata* Hampson (Lepidoptera: Noctuidae)', *The Canadian Entomologist*, 97(6), pp. 612–617. doi: 10.4039/Ent97612-6.

Evrard, Q., Haurez, B. and Doucet, J. L. (2017) 'Le rôle des rongeurs dans la dispersion des diaspores en milieu forestier (Synthèse bibliographique)', *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, 21(1), pp. 66–79.

Fayolle, A. *et al.* (2012) 'Geological substrates shape tree species and trait distributions in African moist forests', *PLoS ONE*, 7(8). doi: 10.1371/journal.pone.0042381.

FRMi (2018a) *Développement intègre et durable de la filière bois dans le bassin du Congo : opportunités, défis et recommandations opérationnelles plan de travail issu de la mission de cadrage*. Montpellier - France.

- FRMi (2018b) *Industrialisation filière bois dans les 6 pays du bassin du Congo, vision stratégique horizon 2030*.
- Gautier-Hion, A. *et al.* (1985) 'Fruit characters as a basis of fruit choice and seed dispersal in a tropical forest vertebrate community', *Oecologia*, 65(3), pp. 324–337. doi: 10.1007/BF00378906.
- Gérard, J. *et al.* (2016) *Atlas des bois tropicaux*. Éditions Q. Paris, France.
- Gillet, J. (2013) 'Les Forêts a Marantaceae Au Sein De La Mosaïque Forestiere Du Nord De La Republique Du Congo : Origines Et Modalites De Gestion', *Communauté Française De Belgique Académie Universitaire Wallonie-Europe Université De Liege - Gembloux Agro-Bio Tech*, p. 194.
- Di Giorgio, C. *et al.* (2006) 'Antileishmanial activity of quinovic acid glycosides and cadambine acid isolated from *Nauclea diderrichii*', *Planta Medica*, 72(15), pp. 1396–1402. doi: 10.1055/s-2006-951726.
- Gosling, W. D., Miller, C. S. and Livingstone, D. A. (2013) 'Atlas of the tropical West African pollen flora', *Review of Palaeobotany and Palynology*. Elsevier B.V., 199, pp. 1–135. doi: 10.1016/j.revpalbo.2013.01.003.
- Gourlet-Fleury, S. *et al.* (2013) 'Tropical forest recovery from logging: a 24 year silvicultural experiment from Central Africa', *Central Africa. Phil Trans R Soc B* 368:, 368(20120302), p. 10. doi: 10.1098/rstb.2012.0302.
- Govaerts, R. *et al.* (2021) *World Checklist of Rubiaceae. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew*. Available at: [http://wcp.science.kew.org/namedetail.do?name\\_id=133119](http://wcp.science.kew.org/namedetail.do?name_id=133119) (Accessed: 8 June 2021).
- Hallé, N. (1966) 'Flore du Gabon; Famille des Rubiaceae (1re partie)', *Museum National d'Hist. Nat. MNHN*. Paris, Laboratoire de phanérogamie, 12, pp. 5–278.
- Haudecoeur, R. *et al.* (2018) 'Traditional uses, phytochemistry and pharmacological properties of African *Nauclea* species: A review', *Journal of Ethnopharmacology*. Elsevier Ireland Ltd, 212(January 2017), pp. 106–136. doi: 10.1016/j.jep.2017.10.011.
- Hayes, A. F. and Agler, R. A. (2013) 'On the Standard Error of the Difference between Two Independent Regression Coefficients in Moderation Analysis: A Commentary on Robinson, Tomek, and Schumaker', *Multiple Linear Regression Viewpoints*, 40(in press), pp. 1–30.
- Hecketsweiler, P. (1992) 'Phénologie et saisonnalité en forêt gabonaise. L'exemple de quelques espèces ligneuses'.
- Hills, R. (2021) *Nauclea diderrichii*. *The IUCN Red List of Threatened Species*.
- Hirsch, B. T., Kays, R. and Jansen, P. A. (2013) 'Evidence for cache surveillance by a scatter-hoarding rodent', *Animal Behaviour*. Elsevier Ltd, 85(6), pp. 1511–1516. doi: 10.1016/j.anbehav.2013.04.005.
- Istas, R., Heremans, R. and Raekelboom, E. L. (no date) 'Caractères généraux des bois feuillus du Congo beige'.
- ITTO (2021) *Tropical Timber Market Report, Organisation Internationale des Bois Tropicaux*. Available at: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=c8h&AN=2009675429&site=ehost-live>.
- IUCN (2021) *La Liste rouge de l'UICN des espèces menacées. Version 2021-1, Union internationale pour la conservation de la nature et des ressources naturelles*. Available at: <https://www.iucnredlist.org/> (Accessed: 22 July 2021).
- Karsenty, A. and Gourlet-Fleury, S. (2016) *Quelle efficacité environnementale des plans d'aménagement des*



*concessions forestières* ? Available at: <http://dpfac.cirad.fr/amenagement-et-deforestation>.

Khan, M., Amupitan, J. and Sudi, I. (2017) 'Antimicrobial Activity and Isolation of Methylated Flavanone from Methanol Stem-bark Extract of *Nauclea diderrichii*', *International Journal of Biochemistry Research & Review*, 18(2), pp. 1–10. doi: 10.9734/ijbcr/2017/28200.

Kimpouni, V., Apani, E. and Motom, M. (2013) 'Analyse phytoécologique de la flore ligneuse de la haute sangha (République du Congo)', *Adansonia*, 35(1), pp. 107–134. doi: 10.5252/a2013n1a9.

Kingdon, J. *et al.* (2013) *mammals of africa, Mammals of Africa (6 vols)*.

KOUMBA ZAOU, P. *et al.* (1998) 'Croissance de 13 essences de bois d'œuvre plantées en forêt gabonaise', *Bois et forêts des tropiques*, pp. 21–33.

Kyereh, B., Swaine, M. D. and Thompson, J. (1999) 'Effect of light on the germination of forest trees in Ghana', *Journal of Ecology*, 87(5), pp. 772–783. doi: 10.1046/j.1365-2745.1999.00386.x.

De La Mensbrugé G. (1966) *La germination et les plantules des essences arborées de la forêt dense humide de la Côte d'Ivoire*. Nogent-sur-Marne, France: Centre Technique Forestier Tropical, 26. Available at: <https://agritrop.cirad.fr/529966/>.

Leakey, R. R. B. (1990) 'Nauclea diderrichii: rooting of stem cuttings, clonal variation in shoot dominance, and branch plagiotropism', *Trees*, 4(3), pp. 164–169. doi: 10.1007/BF00225781.

Ligot, G. *et al.* (2019) 'Réviser les tarifs de cubage pour prendre en compte l'évolution de la ressource au Cameroun', *Bois & Forêts Des Tropiques*, 338, p. 57. doi: 10.19182/bft2018.338.a31677.

Manuel ATIBT-FFEM (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*.

Martin, P. and Vernay, M. (2016) *Guide d'utilisation des bois éco-certifiés africains en Europe*. ATIBT. Paris, France. Available at: <https://www.atibt.org/wp-content/uploads/2017/06/ATIBT-GUIDE-BOIS-AFRICAINS-NUM-V2.pdf>.

Martin, P., Vernay, M. and Groutel, E. (2014) *les connaissances clés sur le bois tropical à portée de main*. Associatio. Programme de promotion de l'exploitation certifiée des forêts (PPECF).

Martins, D. and Nunez, C. V. (2015) 'Secondary metabolites from Rubiaceae species', *Molecules*, 20(7), pp. 13422–13495. doi: 10.3390/molecules200713422.

Mathurin, T. and Nasi, R. (1999) *Produits Forestiers Autres que le Bois d'oeuvre (PFAB): place dans l'aménagement durable des forêts denses humides d'Afrique Centrale, Serie FORAFRI 18*. CIRAD Forêt. Available at: <http://www.forafri.org/ressources/forafri/39.pdf>.

Matig, O. E., Ndoye, O. and Awono, A. (2006) *Les fruitiers forestiers comestibles du Cameroun*. Edited by I. P. G. R. Institute. Cotonou, Benin. Available at: [www.ipgri.cgiar.org](http://www.ipgri.cgiar.org).

Mbelli, H. M. (2002) 'Plant-animal relations: effects of disturbance on the regeneration of commercial tree species', *The Tropenbos-Cameroon Programme, Kribi, Cameroon*, 11.

Megevand, C. (2013) *Dynamique de déforestation dans le bassin du Congo: réconcilier la croissance*

*économique et la protection de la forêt.*

Meunier, Q., Doucet, J.-L. and Moumbogou, C. (2015) *Arbres Utiles du Gabon*.

MINFOF and FAO (2005) *Evaluation des ressources forestières nationales du Cameroun*. Yaoundé, Cameroun.

Morin-Rivat, J. *et al.* (2017) 'Present-day central African forest is a legacy of the 19th century human history', *eLife*, 6, pp. 1–18. doi: 10.7554/eLife.20343.

Ngodo Melingui, J. B. *et al.* (2017) 'Place du commerce du bois issu du sciage artisanal : Cas de la ville de Yaoundé (cameroun)', *World Wide Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 4(2), pp. 173–185.

Odoh, U. E. *et al.* (2018) 'Medicinal plants used by the people of Nsukka Local Government Area, south-eastern Nigeria for the treatment of malaria: An ethnobotanical survey', *Journal of Ethnopharmacology*. Elsevier Ireland Ltd, 218(June 2017), pp. 1–15. doi: 10.1016/j.jep.2018.02.034.

OFAC (2018) 'Contributions des pays d'Afrique centrale à la lutte contre le changement climatique: Nécessité urgente d'une coordination intersectorielle'.

Omokhua, G., Godwin-Egein, M. and Okereke, V. (2009) 'Fusarium Damping-off of two Timber Species (*Terminalia Ivorensis* A.Chev and *Nauclea Diderrichii* De Wild and Th.Dur) in the Nursery', *African Research Review*, 3(4), pp. 252–260. doi: 10.4314/afrrrev.v3i4.47561.

ONADEF (1992) *Normes d'études d'arbres*. Cameroun.

Opuni-Frimpong, N. Y. and Opuni-Frimpong, E. (2012) 'Nauclea diderrichii (De Wild. & T. Durand) Merr.', in Lemmens, R. H. M. J., Louppe, D., and Oteng-Amoako, A. . (eds) *PROTA (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale)*. PROTA 7 (2. Wageningen, Pays Bas, p. 891.

Orwa, C. *et al.* (2009) *Agroforestry Database : a tree reference and selection guide*. Kenya.

Ouedraogo, D.-Y. *et al.* (2018) 'The size at reproduction of canopy tree species in central Africa', *The Association for Tropical Biology and Conservation*, 50(3), p. 12. doi: 10.1111/btp.12531.

Pallisco and Nature+ (2008) *Plan d'aménagement des UFA de la société Pallisco et partenaires*. Available at: [http://www.pallisco-cifm.com/download/Resume\\_PA\\_v01-1\\_Mai2008.pdf](http://www.pallisco-cifm.com/download/Resume_PA_v01-1_Mai2008.pdf).

PARPAF (2009) *Normes Nationales d'Elaboration des Plans d'Aménagement: tome 2*. République Centrafricaine.

Petit, E. (2058) 'Les Naucleaeae (Rubiaceae) du Congo Belge et du Ruanda-Urundi-2. Mitragnyna et Nauclea', *Bulletin du Jardin botanique de l'État à Bruxelles*, 28(1), pp. 1–13.

Picard, N. and Gourlet-Fleury, S. (2011) *Optimisation des hypothèses et paramètres d'aménagement*. Libreville - Gabon.

Poorter, L., Bongers, F. and van Rompaey, R. (1996) 'ScienceDirect.com - Forest Ecology and Management - Regeneration of canopy tree species at five sites in West African moist forest', *Forest Ecology and ...*, 84, pp. 61–69. Available at:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037811279603736X%5Cnpapers2://publication/uuid/46C3FB80-BF3E-4485-A149-C3ED256A78E5>.

- Rassimwaï, P. *et al.* (2015) 'Multiplication végétative in vitro de *Nauclea diderrichii* ( De Wild & T . Durand ) Merrill , une espèce forestière de bois d ' œuvre rare et menacée de disparition au Togo [ In vitro vegetative multiplication of *Nauclea diderrichii* ( De Wild & T . Durand ', 13(2), pp. 474–484.
- Razafimandimbison, S. G., Kellogg, E. A. and Bremer, B. (2004) 'Recent Origin and Phylogenetic Utility of Divergent ITS Putative Pseudogenes: A Case Study from Naucleaeae (Rubiaceae)', *Syst. Biol.*, 53(2), pp. 177–192. doi: 10.1080/10635150490423278.
- Réjou-Méchain, M. *et al.* (2021) 'Unveiling African rainforest composition and vulnerability to global change', *Nature*. Springer US, 593(7857), pp. 90–94. doi: 10.1038/s41586-021-03483-6.
- Richter, H. and Dallwitz, M. (2000) *Les bois commerciaux : descriptions, illustrations, identification et recherche d'informations*. Available at: <http://www1.biologie.uni-hamburg.de/b-online/wood/english/rubnadid.htm>.
- RIDDOCH, I., LEHTO, T. and GRACE, J. (1991) 'Photosynthesis of tropical tree seedlings in relation to light and nutrient supply', *New Phytologist*, 119(1), pp. 137–147. doi: 10.1111/j.1469-8137.1991.tb01017.x.
- Saha, P., Mukhopadhyay, D. and Chatterjee, M. (2011) 'Immunomodulation by chemotherapeutic agents against Leishmaniasis', *International Immunopharmacology*. Elsevier B.V., 11(11), pp. 1668–1679. doi: 10.1016/j.intimp.2011.08.002.
- Sidiq, L. O., Segun, P. A. and Ogbole, O. O. (2018) 'Total phenolic contents and antioxidant activity of nine medicinal plants used in Nigerian traditional medicine', *Tropical Journal of Natural Product Research*, 2(9), pp. 438–441. doi: 10.26538/tjnpr/v2i9.6.
- Sinclair, I. and Ryan, P. (2003) *Birds of Africa, south of the Sahara, Choice Reviews Online*. doi: 10.5860/choice.48-5096.
- Sonké, B. and Kouob, S. (2001) *Etude des groupements végétaux de la Réserve du Dja (Cameroun)*. Cameroun.
- Sous-comité des normes et des pétitions de l'UICN (2017) 'Lignes directrices pour l'utilisation des Catégories et Critères de la Liste rouge de l'UICN', *THE IUCN RED LIST OF THREATENED SPECIES*, 13(Mars), pp. 1–118.
- Tchatat, M., Ndoye, O. and Nasi, R. (1999) 'Produits Forestiers Autres que le Bois d'oeuvre (PFAB): place dans l'aménagement durable des forêts humides d'Afrique Centrale', *CIRAD Forêt*. CIRAD Forêt. Available at: <https://www.cifor.org/knowledge/publication/579/> (Accessed: 13 August 2020).
- Tchatchou, B. *et al.* (2015) *Déforestation et dégradation des forêts dans le Bassin du Congo: État des lieux, causes actuelles et perspectives*, Centre de recherche forestière internationale. doi: 10.17528/cifor/005457.
- Thiry, V. *et al.* (2019) 'Seed dispersal by proboscis monkeys: the case of *Nauclea* spp.', *Primates*. Springer Japan, 60(5), pp. 449–457. doi: 10.1007/s10329-019-00736-x.
- Toledo-Aceves and Swaine, M. D. (2008) 'Effect of lianas on tree regeneration in gaps and forest understorey in a tropical forest in Ghana', *Journal of Vegetation Science*, 19(5), pp. 717–728. doi: 10.3170/2008-8-18444.
- Topa, G. *et al.* (2009) *Forêts tropicales humides du Cameroun: Une décennie de réformes, Forêts tropicales humides du Cameroun: Une décennie de réformes*. doi: 10.1596/978-0-8213-7879-3.
- Valentin, A. *et al.* (2000) 'Antiplasmodial activity of plant extracts used in west African traditional medicine', *Journal of Ethnopharmacology*, 73(1–2), pp. 145–151. doi: 10.1016/S0378-8741(00)00296-8.

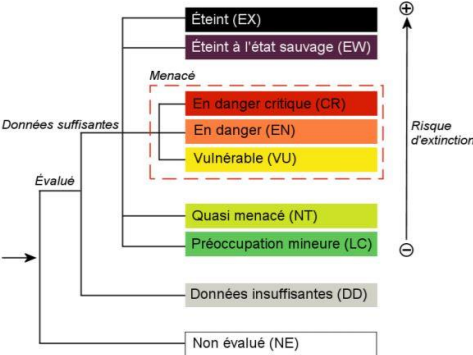
- Vega, F. E., Davis, A. P. and Jaramillo, J. (2012) 'From forest to plantation? Obscure articles reveal alternative host plants for the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae)', *Biological Journal of the Linnean Society*, 107(1), pp. 86–94. doi: 10.1111/j.1095-8312.2012.01912.x.
- Vivien, J. and Faure, J. J. (2011) *Arbres des forêts denses d'Afrique centrale*. Edited by N. Kerou. Paris, France.
- Vleminckx, J. *et al.* (2020) 'Past human disturbances and soil fertility both influence the distribution of light-demanding tree species in a Central African tropical forest', *Journal of Vegetation Science*, (October 2019), pp. 440–453. doi: 10.1111/jvs.12861.
- Voorhoeve, A. G. (1965) *Liberian high forest trees*, *Centre des publications et de la documentation agricoles*. Wageningen, Pays Bas. doi: 10.2307/1217558.
- Walter, O. J., Adekanmbi, O. H. and Clifford, O. (2019) 'Palynological analysis of faecal matter in African Forest Elephants *Loxodonta cyclotis* (Mammalia: Proboscidea: Elephantidae) at Omo Forest Reserve, Nigeria', *Journal of Threatened Taxa*, 11(10), pp. 14309–14317. doi: 10.11609/jott.4639.11.10.14309-14317.
- De Wasseige, C. *et al.* (2012) *Les forêts du bassin du Congo état des forêts 2010*. Offi ce de. Edited by Observatoire des Forêts d'Afrique centrale / Partenariat pour les Forêts du Bassin du Congo. Luxembourg. doi: 10.2788/48830.
- De Wasseige, C. *et al.* (2014) *Les forêts du bassin du Congo – État des Forêts 2013*. WEYRICH ÉD. Belgique.
- Weghe, J. P., Bidault, E. and Stévant, T. (2016) 'Les plantes à fleurs du Gabon, une introduction à la flore des angiospermes.' Libreville, Gabon, p. 796.
- Wilson, M. (2013) *Calculs des diamètres minimums d'exploitation durable : méthode prenant en compte le type de forêt et l'historique d'exploitation au Cameroun*. AgroParisTech, Centre de Montpellier.
- Wright F.E., Maxon W.R., Edson S.B., 1915. Merrill: the generic name *Nauclea* of linnaeus. *Journal of the Washington academy of sciences* Vol.5 (530-542). (1915) 'Merrill: the generic name *Nauclea* of linnaeus', *Journal of the Washington academy of sciences*, 5, pp. 530–542.
- Yetein, M. H. *et al.* (2013) 'Ethnobotanical study of medicinal plants used for the treatment of malaria in plateau of Allada, Benin (West Africa)', *Journal of Ethnopharmacology*, 146(1), pp. 154–163. doi: 10.1016/j.jep.2012.12.022.

## ANNEXES

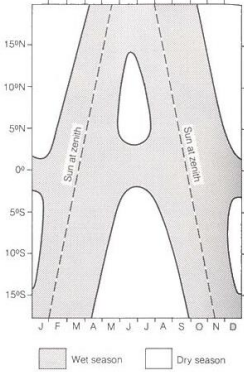
Annexe 1 : Critères d'évaluation des taxons dans chacune des catégories de la liste rouge de l'IUCN.

<b>A. Réduction de la taille de la population.</b> Réduction (mesurée sur la plus longue des deux durées : 10 ans ou 3 générations) sur la base d'un ou plusieurs des critères A1 à A4			
	En danger critique	En danger	Vulnérable
A1	≥ 90%	≥ 70%	≥ 50%
A2, A3 & A4	≥ 80%	≥ 50%	≥ 30%
<p>A1 Réduction de la population constatée, estimée, déduite ou supposée, dans le passé, lorsque les causes de la réduction sont clairement réversibles ET comprises ET ont cessé.</p> <p>A2 Réduction de la population constatée, estimée, déduite ou supposée, dans le passé, lorsque les causes de la réduction n'ont peut-être pas cessé OU ne sont peut-être pas comprises OU ne sont peut-être pas réversibles.</p> <p>A3 Réduction de la population prévue, déduite ou supposée dans le futur (sur un maximum de 100 ans) [(a) ne peut pas être utilisé pour A3].</p> <p>A4 Réduction de la population constatée, estimée, déduite, prévue ou supposée, sur une période de temps devant inclure à la fois le passé et l'avenir (sur un maximum de 100 ans dans le futur), lorsque les causes de la réduction n'ont peut-être pas cessé OU ne sont peut-être pas comprises OU ne sont peut-être pas réversibles.</p>	<p>ense basant sur l'un des éléments suivants:</p>		<p>(a) l'observation directe [excepté A3]</p> <p>(b) un indice d'abondance adapté au taxon</p> <p>(c) la réduction de la zone d'occupation (AOO), de la zone d'occurrence (EOO) et/ou de la qualité de l'habitat</p> <p>(d) les niveaux d'exploitation réels ou potentiels</p> <p>(e) les effets de taxons introduits, de l'hybridation, d'agents pathogènes, de substances polluantes, d'espèces concurrentes ou parasites</p>
<b>B. Répartition géographique, qu'il s'agisse de B1 (zone d'occurrence) ET/OU B2 (zone d'occupation)</b>			
	En danger critique	En danger	Vulnérable
B1. Zone d'occurrence (EOO)	< 100 km <sup>2</sup>	< 5 000 km <sup>2</sup>	< 20 000 km <sup>2</sup>
B2. Zone d'occupation (AOO)	< 10 km <sup>2</sup>	< 500 km <sup>2</sup>	< 2 000 km <sup>2</sup>
ET au moins 2 des 3 conditions suivantes :			
(a) Sévèrement fragmentée OU nombre de localités	= 1	≤ 5	≤ 10
(b) Déclin continu constaté, estimé, déduit ou prévu de l'un des éléments suivants : (i) zone d'occurrence, (ii) zone d'occupation, (iii) superficie, étendue et/ou qualité de l'habitat, (iv) nombre de localités ou de sous-populations, (v) nombre d'individus matures			
(c) Fluctuations extrêmes de l'un des éléments suivants : (i) zone d'occurrence, (ii) zone d'occupation, (iii) nombre de localités ou de sous-populations, (iv) nombre d'individus matures			
<b>C. Petite population et déclin</b>			
	En danger critique	En danger	Vulnérable
Nombre d'individus matures	< 250	< 2 500	< 10 000
ET au moins un des sous-critères C1 ou C2 :			
C1. Un déclin continu constaté, estimé ou prévu (sur un maximum de 100 ans dans le futur) d'au moins :	25% en 3 ans ou 1 génération (sur la plus longue des deux durées)	20% en 5 ans ou 2 générations (sur la plus longue des deux durées)	10% en 10 ans ou 3 générations (sur la plus longue des deux durées)
C2. Un déclin continu constaté, estimé, prévu ou déduit ET au moins 1 des 3 conditions suivantes :			
(a) (i) Nombre d'individus matures dans chaque sous-population :	≤ 50	≤ 250	≤ 1 000
(ii) % d'individus matures dans une sous-population =	90–100%	95–100%	100%
(b) Fluctuations extrêmes du nombre d'individus matures			
<b>D. Population très petite ou restreinte</b>			
	En danger critique	En danger	Vulnérable
D. Nombre d'individus matures	< 50	< 250	D1. < 1 000
D2. Pour la catégorie VU uniquement Zone d'occupation restreinte ou nombre de localités limité et susceptibles d'être affectées à l'avenir par une menace vraisemblable pouvant très vite conduire le taxon vers EX ou CR.	-	-	D2. en règle générale : AOO < 20 km <sup>2</sup> ou nombre de localités ≤ 5
<b>E. Analyse quantitative</b>			
	En danger critique	En danger	Vulnérable
Indiquant que la probabilité d'extinction dans la nature est :	≥ 50% sur 10 ans ou 3 générations, sur la plus longue des deux durées (100 ans max.)	≥ 20% sur 20 ans ou 5 générations, sur la plus longue des deux durées (100 ans max.)	≥ 10% sur 100 ans

Annexe 2 : Structure des différentes catégories de la liste rouge de l'IUCN



Annexe 3 : Inversion des saisons de part et d'autre de l'équateur



Annexe 4 : Classification climatique de Köppen-Geiger

**Table 1.** Description of Köppen climate symbols and defining criteria.

1st	2nd	3rd	Description	Criteria*
A			Tropical	$T_{\text{cold}} \geq 18$
	f		- Rainforest	$P_{\text{dry}} \geq 60$
	m		- Monsoon	Not (Af) & $P_{\text{dry}} \geq 100 - \text{MAP}/25$
	w		- Savannah	Not (Af) & $P_{\text{dry}} < 100 - \text{MAP}/25$
B			Arid	$\text{MAP} < 10 \times P_{\text{threshold}}$
	W		- Desert	$\text{MAP} < 5 \times P_{\text{threshold}}$
	S		- Steppe	$\text{MAP} \geq 5 \times P_{\text{threshold}}$
		h	- Hot	$\text{MAT} \geq 18$
		k	- Cold	$\text{MAT} < 18$
C			Temperate	$T_{\text{hot}} > 10$ & $0 < T_{\text{cold}} < 18$
	s		- Dry Summer	$P_{\text{sdry}} < 40$ & $P_{\text{sdry}} < P_{\text{wwet}}/3$
	w		- Dry Winter	$P_{\text{wdry}} < P_{\text{swet}}/10$
	f		- Without dry season	Not (Cs) or (Cw)
		a	- Hot Summer	$T_{\text{hot}} \geq 22$
		b	- Warm Summer	Not (a) & $T_{\text{mon10}} \geq 4$
		c	- Cold Summer	Not (a or b) & $1 \leq T_{\text{mon10}} < 4$
D			Cold	$T_{\text{hot}} > 10$ & $T_{\text{cold}} \leq 0$
	s		- Dry Summer	$P_{\text{sdry}} < 40$ & $P_{\text{sdry}} < P_{\text{wwet}}/3$
	w		- Dry Winter	$P_{\text{wdry}} < P_{\text{swet}}/10$
	f		- Without dry season	Not (Ds) or (Dw)
		a	- Hot Summer	$T_{\text{hot}} \geq 22$
		b	- Warm Summer	Not (a) & $T_{\text{mon10}} \geq 4$
		c	- Cold Summer	Not (a, b or d)
		d	- Very Cold Winter	Not (a or b) & $T_{\text{cold}} < -38$
E			Polar	$T_{\text{hot}} < 10$
	T		- Tundra	$T_{\text{hot}} > 0$
	F		- Frost	$T_{\text{hot}} \leq 0$

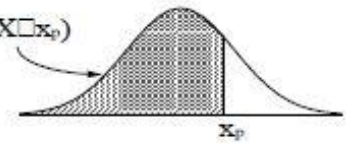
\*MAP = mean annual precipitation, MAT = mean annual temperature,  $T_{\text{hot}}$  = temperature of the hottest month,  $T_{\text{cold}}$  = temperature of the coldest month,  $T_{\text{mon10}}$  = number of months where the temperature is above 10,  $P_{\text{dry}}$  = precipitation of the driest month,  $P_{\text{sdry}}$  = precipitation of the driest month in summer,  $P_{\text{wdry}}$  = precipitation of the driest month in winter,  $P_{\text{swet}}$  = precipitation of the wettest month in summer,  $P_{\text{wwet}}$  = precipitation of the wettest month in winter,  $P_{\text{threshold}}$  = varies according to the following rules (if 70% of MAP occurs in winter then  $P_{\text{threshold}} = 2 \times \text{MAT}$ , if 70% of MAP occurs in summer then  $P_{\text{threshold}} = 2 \times \text{MAT} + 28$ , otherwise  $P_{\text{threshold}} = 2 \times \text{MAT} + 14$ ). Summer (winter) is defined as the warmer (cooler) six month period of ONDJFM and AMJJAS.

Annexe 5 : Table de Student

## Table des quantiles de la v.a. de Student

Fournit les quantiles  $x_p$  tels que  $P(X \leq x_p) = p$   
pour  $X \sim t_{dl}$

$$p = P(X \leq x_p)$$



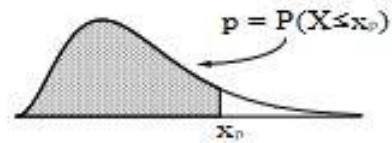
p	0.7500	0.9000	0.9500	0.9750	0.9900	0.9950	0.9975	0.9990
<b>dl</b>								
1	1.0000	3.0780	6.3140	12.7060	31.8210	63.6570	127.3213	318.3088
2	0.8160	1.8860	2.9200	4.3030	6.9650	9.9250	14.0891	22.3271
3	0.7650	1.6380	2.3530	3.1820	4.5410	5.8410	7.4533	10.2145
4	0.7410	1.5330	2.1320	2.7760	3.7470	4.6040	5.5976	7.1732
5	0.7270	1.4760	2.0150	2.5710	3.3650	4.0320	4.7733	5.8934
6	0.7180	1.4400	1.9430	2.4470	3.1430	3.7070	4.3168	5.2076
7	0.7110	1.4150	1.8950	2.3650	2.9980	3.4990	4.0293	4.7853
8	0.7060	1.3970	1.8600	2.3060	2.8960	3.3550	3.8325	4.5008
9	0.7030	1.3830	1.8330	2.2620	2.8210	3.2500	3.6897	4.2968
10	0.7000	1.3720	1.8120	2.2280	2.7640	3.1690	3.5814	4.1437
11	0.6970	1.3630	1.7960	2.2010	2.7180	3.1060	3.4966	4.0247
12	0.6950	1.3560	1.7820	2.1790	2.6810	3.0550	3.4284	3.9296
13	0.6940	1.3500	1.7710	2.1600	2.6500	3.0120	3.3725	3.8520
14	0.6920	1.3450	1.7610	2.1450	2.6240	2.9770	3.3257	3.7874
15	0.6910	1.3410	1.7530	2.1310	2.6020	2.9470	3.2860	3.7328
16	0.6900	1.3370	1.7460	2.1200	2.5830	2.9210	3.2520	3.6862
17	0.6890	1.3330	1.7400	2.1100	2.5670	2.8980	3.2225	3.6458
18	0.6880	1.3300	1.7340	2.1010	2.5520	2.8780	3.1966	3.6105
19	0.6880	1.3280	1.7290	2.0930	2.5390	2.8610	3.1737	3.5794
20	0.6870	1.3250	1.7250	2.0860	2.5280	2.8450	3.1534	3.5518
21	0.6860	1.3230	1.7210	2.0800	2.5180	2.8310	3.1352	3.5272
22	0.6860	1.3210	1.7170	2.0740	2.5080	2.8190	3.1188	3.5050
23	0.6850	1.3190	1.7140	2.0690	2.5000	2.8070	3.1040	3.4850
24	0.6850	1.3180	1.7110	2.0640	2.4920	2.7970	3.0905	3.4668
25	0.6840	1.3160	1.7080	2.0600	2.4850	2.7870	3.0782	3.4502
26	0.6840	1.3150	1.7060	2.0560	2.4790	2.7790	3.0669	3.4350
27	0.6840	1.3140	1.7030	2.0520	2.4730	2.7710	3.0565	3.4210
28	0.6830	1.3130	1.7010	2.0480	2.4670	2.7630	3.0469	3.4082
29	0.6830	1.3110	1.6990	2.0450	2.4620	2.7560	3.0380	3.3962
30	0.6830	1.3100	1.6970	2.0420	2.4570	2.7500	3.0298	3.3852
35	0.6820	1.3060	1.6900	2.0300	2.4380	2.7240	2.9960	3.3400
40	0.6810	1.3030	1.6840	2.0210	2.4230	2.7040	2.9712	3.3069
45	0.6800	1.3010	1.6790	2.0140	2.4120	2.6900	2.9521	3.2815
50	0.6790	1.2990	1.6760	2.0090	2.4030	2.6780	2.9370	3.2614
100	0.6770	1.2900	1.6600	1.9840	2.3640	2.6260	2.8713	3.1737
inf	0.6745	1.2816	1.6449	1.9600	2.3263	2.5758	2.8070	3.0902



Annexe 6 : Table des valeurs critiques de  $\chi^2$

## Table des quantiles de la v.a. Chi-Carré

Fournit les quantiles  $x_p$ , tels que  $P(X \leq x_p) = p$   
pour  $X \sim \chi_{d.l.}^2$



p	0.005	0.010	0.025	0.050	0.100	0.250	0.500	0.750	0.900	0.95	0.975	0.990	0.995
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.10	0.45	1.32	2.71	3.84	5.02	6.64	7.88
2	0.01	0.02	0.05	0.10	0.21	0.58	1.39	2.77	4.61	5.99	7.38	9.21	10.60
3	0.07	0.11	0.22	0.35	0.58	1.21	2.37	4.11	6.25	7.82	9.35	11.35	12.84
4	0.21	0.30	0.48	0.71	1.06	1.92	3.36	5.39	7.78	9.49	11.14	13.28	14.86
5	0.41	0.55	0.83	1.15	1.61	2.67	4.35	6.63	9.24	11.07	12.83	15.09	16.75
6	0.68	0.87	1.24	1.64	2.20	3.45	5.35	7.84	10.64	12.59	14.45	16.81	18.55
7	0.99	1.24	1.69	2.17	2.83	4.25	6.35	9.04	12.02	14.07	16.01	18.48	20.28
8	1.34	1.65	2.18	2.73	3.49	5.07	7.34	10.22	13.36	15.51	17.53	20.09	21.95
9	1.74	2.09	2.70	3.33	4.17	5.90	8.34	11.39	14.68	16.92	19.02	21.67	23.59
10	2.16	2.56	3.25	3.94	4.87	6.74	9.34	12.55	15.99	18.31	20.48	23.21	25.19
11	2.60	3.05	3.82	4.58	5.58	7.58	10.34	13.70	17.28	19.68	21.92	24.72	26.76
12	3.07	3.57	4.40	5.23	6.30	8.44	11.34	14.85	18.55	21.03	23.34	26.22	28.30
13	3.57	4.11	5.01	5.89	7.04	9.30	12.34	15.98	19.81	22.36	24.74	27.69	29.82
14	4.08	4.66	5.63	6.57	7.79	10.17	13.34	17.12	21.06	23.68	26.12	29.14	31.32
15	4.60	5.23	6.26	7.26	8.55	11.04	14.34	18.25	22.31	25.00	27.49	30.58	32.80
16	5.14	5.81	6.91	7.96	9.31	11.91	15.34	19.37	23.54	26.30	28.85	32.00	34.27
17	5.70	6.41	7.56	8.67	10.09	12.79	16.34	20.49	24.77	27.59	30.19	33.41	35.72
18	6.27	7.02	8.23	9.39	10.87	13.68	17.34	21.61	25.99	28.87	31.53	34.81	37.16
19	6.84	7.63	8.91	10.12	11.65	14.56	18.34	22.72	27.20	30.14	32.85	36.19	38.58
20	7.43	8.26	9.59	10.85	12.44	15.45	19.34	23.83	28.41	31.41	34.17	37.57	40.00
21	8.03	8.90	10.28	11.59	13.24	16.34	20.34	24.94	29.62	32.67	35.48	38.93	41.40
22	8.64	9.54	10.98	12.34	14.04	17.24	21.34	26.04	30.81	33.92	36.78	40.29	42.80
23	9.26	10.20	11.69	13.09	14.85	18.14	22.34	27.14	32.01	35.17	38.08	41.64	44.18
24	9.89	10.86	12.40	13.85	15.66	19.04	23.34	28.24	33.20	36.42	39.36	42.98	45.56
25	10.52	11.52	13.12	14.61	16.47	19.94	24.34	29.34	34.38	37.65	40.65	44.31	46.93
26	11.16	12.20	13.84	15.38	17.29	20.84	25.34	30.43	35.56	38.89	41.92	45.64	48.29
27	11.81	12.88	14.57	16.15	18.11	21.75	26.34	31.53	36.74	40.11	43.19	46.96	49.64
28	12.46	13.56	15.31	16.93	18.94	22.66	27.34	32.62	37.92	41.34	44.46	48.28	50.99
29	13.12	14.26	16.05	17.71	19.77	23.57	28.34	33.71	39.09	42.56	45.72	49.59	52.34
30	13.79	14.95	16.79	18.49	20.60	24.48	29.34	34.80	40.26	43.77	46.98	50.89	53.67
40	20.71	22.16	24.43	26.51	29.05	33.66	39.34	45.62	51.81	55.76	59.34	63.69	66.77
50	27.99	29.71	32.36	34.76	37.69	42.94	49.33	56.33	63.17	67.50	71.42	76.15	79.49
60	35.53	37.48	40.48	43.19	46.46	52.29	59.33	66.98	74.40	79.08	83.30	88.38	91.95
70	43.28	45.44	48.76	51.74	55.33	61.70	69.33	77.58	85.53	90.53	95.02	100.4	104.2
80	51.17	53.54	57.15	60.39	64.28	71.14	79.33	88.13	96.58	101.9	106.6	112.3	116.3
90	59.20	61.75	65.65	69.13	73.29	80.62	89.33	98.65	107.6	113.1	118.1	124.1	128.3
100	67.33	70.06	74.22	77.93	82.36	90.13	99.33	109.1	118.5	124.3	129.6	135.8	140.2