

Potentiel d'analyse des cernes de croissance: Cas de 09 essences forestières en Afrique Centrale

[Potential of tree-ring analysis: A case study on 09 commercial tree species in Central Africa]

Y. A. Amougou Ndi¹, M. Mbolo¹, F. B. Amougou Amougou^{1,2}, and Ndongo Din³

¹Département de Biologie et Physiologie Végétales, Faculté des sciences, Université de Yaoundé 1, Cameroon

²IRAD de Wakwa, Ngaoundéré, Cameroon

³Faculté des Sciences, Université de Douala, Cameroon

Copyright © 2022 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The presence of growth rings on tropical tree species is proven. In addition, the data on tree growth rhythms are fragmentary for many commercial tree species in the Congo Basin, and several studies question the dendrometric parameter values provided by the forest administration, parameters generally from permanent sample plots. In this study, we have evaluated the potential of tree-rings analysis in the semi-deciduous rainforest in Central Africa. For this, we examined the anatomy of wood of nine tree species to determine the visibility of tree rings and, on the subset of four species whose tree rings are visible, the potential of cross-dating has been evaluated as well as the annual character of formation by tree-rings analysis on stem discs. The age of trees is obtained for each of these tree species: *E. cylindricum*; *M. Altissima*; *M. Excelsa* and *T. scleroxylon* respectively (137, 126, 87 and 67). And the respective annual diametrical increases of (0.68 ± 0.42 ; $0, 71 \pm 0.31$; 0.64 ± 0.29 and 1.02 ± 0.19 cm.an). The comparison of these values to that of the Cameroonian forest administration shows that the latter is higher: 0.5 cm. an *E. cylindricum*, *M. Altissima*, *M. Excelsa* and 0.9 cm.an for *T. scleroxylon*. This method can be applied to other distinct and annual commercial tree species with distinct and annual tree rings to provide new data and fill the knowledge deficit on the growth rates of tropical trees.

KEYWORDS: Tree rings analysis, tree age, diametric increment, Cameroun, wood anatomy.

RESUME: La présence des cernes de croissance sur les essences forestières tropicales est avérée. De plus les données sur les rythmes de croissance des arbres sont fragmentaires pour de nombreuses essences commerciales du Bassin du Congo, et plusieurs études mettent en doute les valeurs de paramètres dendrométriques fournies par l'administration forestière, paramètre provenant généralement des parcelles permanentes. Dans cette étude, nous avons évalué le potentiel d'analyse des cernes en forêt tropicale humide semi décidue d'Afrique Centrale. À cette fin, nous avons examiné l'anatomie du bois de neuf essences pour déterminer la visibilité des cernes et, sur un sous-ensemble de quatre essences dont les cernes sont visibles, le potentiel d'interdatation a été évalué ainsi que le caractère annuel de la formation des cernes par l'analyse des cernes sur des rondelles de bois. L'âge des arbres est obtenu pour chacune de ces essences forestières: *E. cylindricum*; *M. altissima*; *M. excelsa* et *T.scleroxylon* respectivement de (137, 126 87 et 67 ans). Et les accroissements diamétriques annuels respectifs de ($0,68 \pm 0,42$; $0, 71 \pm 0,31$; $0,64 \pm 0,29$ et $1,02 \pm 0,19$ cm.an). La comparaison de ces valeurs à celle de l'administration forestière Camerounaise, montrent que ces dernières sont supérieures: 0,5 cm.an *E. cylindricum*, *M. altissima*, *M. excelsa* et de 0,9 cm.an pour *T.scleroxylon*. Cette méthode peut être appliquée à d'autres essences commerciales à cernes distincts et annuels pour fournir de nouvelles données et combler le déficit de connaissance sur les rythmes de croissance des arbres tropicaux.

MOTS-CLEFS: Analyse de cernes, âge des arbres, accroissement diamétrique, Cameroun, Anatomie du bois.

1 INTRODUCTION

L'Afrique Centrale abrite la seconde plus large surface continue de forêts tropicales humides du monde d'environ 2 millions de km² [1]. Plus de 44 millions d'ha de ces forêts ont été affectées à l'exploitation forestière sélective [2]. Le concept de gestion des forêts durable

(GDF) maintient et améliore la fourniture de biens et de services fournis par les forêts afin de répondre aux besoins actuels et futurs et de protéger leur contribution au développement économique, écologique et social à long terme [3]. Il est particulièrement essentiel d'assurer un approvisionnement continu de bois sans affecter leurs services et leurs fonctions. Les informations écologiques de base des espèces d'arbres récoltées (âge, trajectoires de croissance, régénération et survie...), sont essentielles pour la planification de la GDF, et ces informations sur les essences forestières tropicales sont couramment obtenues sur les mesures répétées de ces arbres dans les parcelles d'échantillons permanentes (PPs). Les mesures dans les PPs en Afrique Centrale sont des méthodes indirectes et consistent à la prise répétitive des diamètres des arbres sur plusieurs années de croissances [4], et sa contribution à la fourniture d'informations sur les essences africaines est encore très limitée. Beaucoup d'études ont été faites [5], [6], [7]. Les informations écologiques de bases sur les essences forestières exploitées (âge, trajectoires de croissance, régénération, taux de survie...), sont essentielles pour les planifications en GDF. La distribution géographique de ces PPs implique que les informations sur zones forestières commerciales importantes sont manquantes [8], et plusieurs PPs sont de petites tailles, généralement d'un (1) hectare de superficie, et contiennent un petit nombre d'essences/espèces commerciales, qui sont présent à une densité de 5 arbres. ha⁻¹ [9], [10]. Parce que la période de « monitoring » des PPs est juste une infinie fraction de l'âge des arbres, cela entraîne souvent des résultats biaisés sur les estimations des relations arbre-âge [11]. A cause du manque d'informations (donnés) à long terme sur l'âge et l'accroissement des espèces forestières commerciales. A la lumière de ce qui précède, les recherches sur les cernes de croissance sont de plus en plus reconnues comme, une méthode rapide et directe d'obtention des données (âges et accroissements) pour les espèces forestières tropicales, quelques études ont prouvées leurs potentiels pour la GDF [12], [13], [14], [15], [16], [17], en Afrique Central particulièrement les informations obtenus de l'analyse des cernes de croissance prennent en compte les informations d'accroissement sur toute la durée de vie des arbres et peuvent donc être utilisé pour la modélisation des âges et trajectoires de croissance des espèces forestières exploitées et aussi pour évaluer le temps nécessaire pour ces arbres d'atteindre les diamètre légaux d'exploitation (Diamètre Minimum d'Exploitabilité: DME) [18], [19], [20], [21].

Malgré l'intérêt grandissant sur ces paramètres de nos jours, les informations sur l'accroissement spécifique à chaque individu (arbre), spécialement pour les forêts tropicales sont encore manquantes. Pour la GDF, l'analyse des cernes de croissance peut être utilisée comme données supplémentaires aux informations d'accroissement des PPs.

Dans cette étude, nous présentons ici des résultats d'analyse de 09 essences/espèces forestières commerciales de la forêt dense humide semi-décidues dans la région de l'Est Cameroun. (i) un dépistage des limites des cernes de croissances dans le bois des 09 essences forestières; (ii) une étude plus poussée sur un sous échantillon de quatre essences présentant des limites de cernes distinctes; (iii) la détermination de l'âge des arbres; (iv) la détermination des accroissements annuels

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 SITE D'ÉTUDE

L'étude a été conduite aux environs de la ville de Gari-Gombo (Ndeng) dans la région de l'Est Cameroun. Les rondelles de bois ont été collectées au sein de l'Assiette Annuelle de Coupe (AAC) 3-3, en cours d'exploitation durant l'année 2013 de l'Unité Forestière d'Aménagement (UFA) 10 025, de la Société Forestière Industrielle de la Lokoundjé du Groupe Decolvenaere Cameroun (SFIL-GDC). Cette UFA a été partiellement/totalement exploité précédemment (1990-1997), ses limites approximatives sont comprises entre 3°30'N et de 3°55'N latitudes et 14°45'E et 15°00'E longitudes. Sa surface est de 49 595 ha, la surface de l'AAC (3-3) de 2013 est de 1586 ha [22]. Les roches de ces sols sont majoritairement de type ferrallitique brun rougeâtre et jaune [23], le socle géologique est constitué de roches métamorphiques: granite et gneiss [24]. Le climat est équatorial humide [25], la moyenne des précipitations est de 1471.78 mm, et la moyenne des températures est 24 ° C (21.94 - 24.56 ° C). La moyenne d'humidité de l'air est de 80 %, l'altitude est comprise entre 600-680. (Figure.1). Cette UFA avait un certificat de gestion durable "Forest Stewardship Council" (FSC) jusqu'en 2014, et à ce jour elle a un certificat de traçabilité et de légalité. Le climat régional est équatorial, avec une distribution de précipitation unimodale et une saison sèche de Décembre à Février: précipitation mensuelle < 60mm [26]. Les valeurs des précipitations au environ de la station météorologique de Yokadouma (85 km au Sud-Ouest du site d'étude), Les quatre saisons incluant une longue saison sèche (mi-Novembre à mi-Mars). La végétation de la région est la forêt dense Guinéo-Congolaise [27], le site d'étude est la zone de transition entre la forêt dense humide sempervirente et la forêt semi-décidue [28].

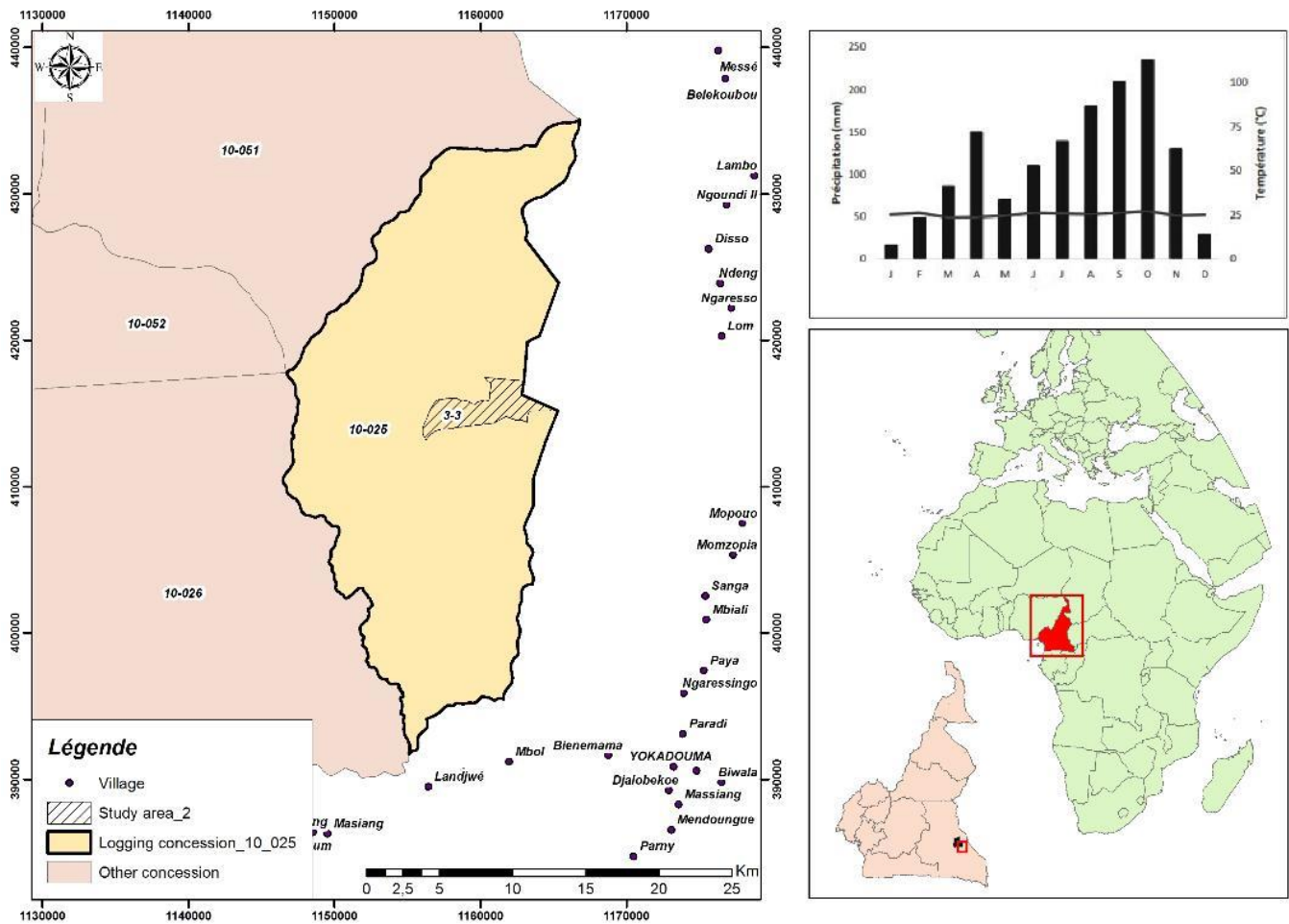


Fig. 1. Localisation et diagramme ombrothermique du site d'étude: a. sites d'études AAC 3-3 (2013) de l'UFA 10 025 (beige) de la Société Forestière Industrielle de la Lokoundjé (SFIL) du Groupement Decolvenaere Cameroun

2.2 ESPÈCES CHOISIES

Cette étude concerne neuf espèces forestières qui ont été sélectionnées en Aout 2013, durant les activités d'exploitation dans l'AAC 3-3 de l'UFA 10 025 [22]. Ces espèces choisies en fonction du carnet de commande de la SFIL-GDC, de la disponibilité de la ressource et de la visibilité des cernes de croissance. Les espèces étudiées sont: *Azelia bipindensis* Harms; *Cylicodiscus gabunensis* Harms; *Erythrophleum suaveolens* Guill. & Perr.; *Pterocarpus soyauxii* Taub. (Fabaceae); *Mansonia altissima* (A. Chev.) A. Chev.; *Triplochiton scleroxylon* K. Schum (Malvaceae); *Entandrophragma cylindricum* Sprague; *Entandrophragma utile* (Dawe & Sprague) Sprague (Meliaceae) et *Milicia excelsa* (Welw) C.C. Berg (Moraceae). Et toutes ces espèces étant connu comme possédant des cernes de croissances [29], [30], [31], [32], [33]. *A. bipindensis*; *C. gabunensis*; *E. cylindricum*; *E. utile*; *E. suaveolens*; *M. altissima* et *T. scleroxylon* sont présent en Afrique Centrale et de l'Ouest. Pour *M. excelsa*, en plus de l'Afrique Centrale et de l'Ouest, se retrouve en Afrique de l'Est et légèrement en Afrique du Sud. Par contre *P. soyauxii* se rencontre au-delà de l'Afrique Centrale (Tableau 1).

Tableau 1. Caractéristiques des neuf espèces forestières: nom scientifique, nom commercial/local, distribution géographique (C: Afrique Centrale, O: Afrique de l'Ouest, E: Afrique de l'Est); DME: Diamètre Minimum d'Exploitation; catégorie commerciale définie par l'administration forestière [34]; AAM: Accroissement Annuel Moyen définie par l'administration forestière [35]; principales utilisations du bois au Cameroun; précédentes études sur le potentiel de l'analyses des cernes de croissance

Nom scientifique	Nom Commercial/local	Distribution en Afrique Tropicale [36], [37], [38], [39], [40]	DME (cm) [35]	AAM (cm/an) [34], [35]	Catégorie commerciale [34]	Principales utilisations du bois [36], [37], [38], [39], [40]	Précédentes études sur les cernes de croissances
<i>Azelia bipendensis</i> (Fabaceae)	Doussié Rouge/M'banga	Afrique C + O	80	0,4	I	Fourniture, construction navale, pont, instrument de musique	Oui [41], [33]
<i>Cylicodiscus gabunensis</i> (Fabaceae)	Okon/Adoum	Afrique C + O	60	0,4	II	Fourniture, hydraulique pont	Non
<i>Entandrophragma cylindricum</i> (Meliaceae)	Sapelli/Assié	Afrique C + O	100	0,5	Exceptionnelle	Fourniture, instrument de musique	Oui [18], [32], [33], [41], [42], [43], [44]
<i>Entandrophragma utile</i> (Meliaceae)	Sipo/Asseng-Assié	Afrique C + O	80	0,5	I	Fourniture construction navale	Oui [20], [32], [33], [41],
<i>Erythroleum suaveolens</i> (Fabaceae)	Tali/Elon	Afrique C + O	50	0,4	III	Fourniture, hydraulique	Oui [18], [41], [43]
<i>Mansonia altissima</i> (Malvaceae)	Bété/Koul	Afrique C + O	60	0,5	II	Fourniture, artisanat, construction navale (bordé et pont)	Oui [41]
<i>Milicia excelsa</i> (Moraceae)	Iroko/Abang	Afrique C + O + E + Mozambique, Zimbabwe	100	0,5	Exceptionnelle	Fourniture, construction navale	Oui [18], [33], [41]
<i>Pterocarpus soyauxii</i> (Fabaceae)	Padouk/Mbel	Afrique C + Nigeria et Angola	60	0,4	II	Fourniture, construction navale, travaux hydrauliques, sculpture	Oui [20], [41]
<i>Triplochiton scleroxylon</i> (Malvaceae)	Ayous/Ayus	Afrique C + O	80	0,9	I	Intérieur, placage et panneaux, talon de chaussures, jouets en bois	Oui [30], [31], [33], [41], [42], [44], [45]

2.3 COLLECTE ET PREPARATION DES RONDELLES DE BOIS

Pendant les activités d'exploitations, les paramètres suivants ont été pris: le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) à l'aide d'un mètre ruban (50 – 100 m); et le géo référencement de tous les arbres échantillonnés à l'aide d'un GPS Garmin 64st. Avant que les rondelles de bois ne soient récoltées dans les chantiers d'abattages de l'AAC 3-3, une rondelle de bois est prélevée à la base de la grume au environ du DHP et/ou au-dessus des empattements ou autre anomalies par le biais d'une tronçonneuse, cette dernière a été subdivisée en deux moitiés égales et par la suite chaque moitié est divisée en trois fragments (camemberts), ceci en s'assurant que toutes les parties de la rondelle sont prises (du centre de la rondelle vers l'écorce). De manière aléatoire un à trois fragments de rondelle sont pris. Un total de 20 rondelles (fragments) des neuf espèces forestières ont été récoltés: dont 02 d'*A. bipendensis* (84 cm); de *C. gabunensis* (65 cm); d'*E. cylindricum* (115 cm); d'*E. suaveolens* (52 cm); 1 d'*E. utile* (84 cm); et 3 de *M. altissima* (64 cm); de *T. scleroxylon* (92,1 cm); de *M. excelsa* (102 cm) et de *P. soyauxii* (65 cm). Pour faciliter l'inspection des cernes toutes ces rondelles de bois ont été séchées naturellement, puis transportées au xylarium du Musée Royale d'Afrique Centrale (MRAC) Tervuren-Belgique. Les rondelles ont été usinées pour uniformiser à l'aide d'un robot électrique la surface à poncer, par la suite à l'aide d'une ponceuse à meule et des papiers abrasifs de grains 40 à 800 ou 1000 elles ont été poncées à l'atelier de menuiserie du MRAC. Et en utilisant un compresseur à air après chaque passage de la ponceuse pour enlever les traces de poussière.

2.4 ANALYSE DES CERNES

L'observation et le marquage des limites de cerne des rondelles de bois s'est faite à l'œil nu et à l'aide d'une simple loupe (grossissement 2,5x), et d'un stéréo-microscope Olympus OlympusSZH10 (grossissement 7–70x). Toutes les limites de cerne ont été examinées/marquées à l'aide d'un crayon sur les deux transects, et en prenant en compte toutes les parties de la rondelle (de la moelle vers l'écorce). Après chaque série de dix cernes marqués, ces derniers ont été suivis sur toute la circonférence de la rondelle dans l'optique de rechercher les différentes anomalies, ceci est le processus d'inter-datation. Les fragments de rondelles de bois, ont été numérisés à 1200 DPI sur un scanner de marque Canon type CanonScanLider700F et un photocopier Canon de marque IR 8700 (grandes rondelles). Pendant la numérisation, près de tous les transects à scannés, une règle graduée a été placée près de la rondelle en guise d'échelle. Les fichiers scans des transects numérisés, ont été affinés à l'aide du logiciel Fiji/Image J, pour les transects entiers (de la moelle à l'écorce). Dans le cas où le transect est divisé en deux, lors de l'enregistrement la partie de la moelle et celle de l'écorce sont enregistrées avec le même numéro mais en ajoutant (a) à la première et (b) à la seconde partie, puis les transects sont affinés par Image J [46].

2.5 MESURE DES LARGEURS DE CERNES

Les largeurs des cernes de croissances ont été mesurés à l'aide des images scans avec une précision de 0,01 mm par l'interface graphique 'Image J/Fiji' du centre vers l'écorce. En prenant en compte la date d'abattage des arbres et de récolte des rondelles de bois (2013) et l'échelle de 1 mm. A la fin des analyses des cernes sur Image J, un fichier Excel est généré avec toutes les différentes mesures des cernes de croissance.

3 RESULTATS

3.1 CARACTÈRES GÉNÉRAUX DES CERNES DE CROISSANCES ET ANOMALIES

L'examen macroscopique des rondelles de bois des neuf espèces, a permis de caractériser l'aspect visuel de ces dernières. Les espèces ayant un aubier/duramen différencié sont les suivantes (*A. bipendensis*; *C. gabunensis*; *E. cylindricum*; *E. utile*; *E. suaveolens*; *M. altissima*; *M. excelsa* et *P. soyauxii*) et seule *T. scleroxylon* présente un aubier/duramen non différencié. La couleur de l'aubier est brun rougeâtre (*A. bipendensis*); brun jaune à brun doré (*C. gabunensis*); brun rouge à brun violet (*E. cylindricum*); brun rouge (*E. utile*); brun jaune à brun rouge (*E. suaveolens*); Brun jaunâtre à brun gris (*M. altissima*); Brun jaune à brun foncé (*M. excelsa*); rouge foncé (*P. soyauxii*) et blanc à jaunâtre (*T. scleroxylon*). La couleur du duramen est quant à elle blanc à jaune pâle (*A. bipendensis*); claire (*C. gabunensis*); gris rosâtre à blanchâtre (*E. cylindricum*); blanc rosé (*E. utile*); blanc rosâtre (*M. altissima*); blanchâtre (*M. excelsa*); blanchâtre (*P. soyauxii*) et blanc à jaunâtre (*T. scleroxylon*) (Tableau 2; Fig.2.)

Tableau 2. Aspects macroscopiques des rondelles de bois des neuf espèces, différenciation aubier/duramen, couleur aubier, couleur duramen

Nom scientifique	Aubier/Duramen	Couleur duramen	Couleur aubier
<i>A. bipendensis</i> (Fabaceae)	Bien différencié	Brun rougeâtre	Blanc à jaune pâle
<i>C. gabunensis</i> (Fabaceae)	Bien différencié	Brun jaune à brun doré	En couleur claire
<i>E. cylindricum</i> (Meliaceae) *	Bien différencié	Bois rouge à brun violet	Gris rosâtre à blanchâtre
<i>E. utile</i> (Meliaceae)	Bien différencié	Bois rouge	En couleur blanc rosé
<i>E. suaveolens</i> (Fabaceae)	Différencié	Brun jaune à brun rouge	Blanc rougeâtre à jaunâtre
<i>M. altissima</i> (Malvaceae) *	Différencié	Brun jaunâtre à brun gris	Blanc rosâtre
<i>M. excelsa</i> (Moraceae) *	Différencié	Brun jaune à brun foncé	Blanchâtre
<i>P. soyauxii</i> (Fabaceae)	Bien différencié	Rouge foncé	Blanchâtre
<i>T. scleroxylon</i> (Mavalceae) *	Non différencié	Blanc à jaunâtre	Blanc à jaunâtre

A la suite de l'examen des sections transversales des rondelles de bois poncées des neuf espèces et des coupes disponibles dans la xylothèque du MRAC et des descriptions anatomiques détaillées des caractéristiques du bois disponible pour la plupart des espèces étudiées [41]; [47] et dans la base de donnée en ligne « InsideWood » [48]. Des neuf espèces étudiées, huit (*A. bipendensis*; *E. cylindricum*; *E. utile*; *E. suaveolens*; *M. altissima*; *M. excelsa*; *P. soyauxii* et *T. scleroxylon*) présentent les limites de cernes distinctes et parmi lesquelles deux présentent un très bon potentiel d'analyse (*E. cylindricum* et *T. scleroxylon*) et quatre un bon potentiel d'analyse (*E. utile*; *E. suaveolens*; *M. altissima* et *M. excelsa*) (Tableau 2). Les limites des cernes de quatre espèces étaient caractérisées par une fine bande de parenchyme, difficile à identifier pour différentes raisons. Chez *E. cylindricum*, la limite de cerne de croissance est dessinée par une ligne de parenchyme axial, pouvant aussi apparaître sous forme d'un fin alignement de chainettes (Fig. 2.b). Les anomalies rencontrées ici sont les faux cernes, les cernes nuls ou partiellement nuls. Pour *M. altissima* la limite de cerne de croissance est dessinée par une ligne

fine/large (chaînette) de parenchyme épaissi d'une à deux cellules incluant des pores et des canaux traumatiques, cette limite est caractérisée par un passage brusque d'une zone foncée à une zone très claire (coloration due à différents aspects du tissu fibreux) (Fig.2.a). Les anomalies d'identification pour cette espèce sont des cernes partiellement nuls. Chez *M. excelsa* la limite de cerne de croissance est souvent tracée par une bande mince et fragmenté de parenchyme ou par de parenchyme aliforme étiré en aile mince et droite qui tend s'aligner de manière tangentielle (Fig.2 d). Les anomalies sont rares pour cette espèce, car les faux cernes y sont rares et les cernes nuls sont facilement identifiable. *T. scleroxylon* la limite de cerne de croissance est dessinée par un parenchyme auquel est associé que quelques rares pores de faible diamètre, pouvant aussi apparaître sous la forme d'un fin alignement de chaînettes (Fig.2.c), les anomalies telles que les cernes nuls sont rares et le seul problème ici est l'étroitesse des cernes. En générale pour toutes ces espèces en plus des anomalies d'identification spécifique à chacune, il ressort du processus d'analyses des cernes que l'identification des cernes est difficile dans les zones proches de moelle (cœur du bois) et aussi dans les parties de l'aubier près de l'écorce. En plus toutes les anomalies ci-dessus mentionnées ont été résolues en suivant les cernes sur toute la circonférence de la rondelle de bois à travers les différents transects. La première anomalie rencontrée est les cernes discontinus, partiels, incomplets ou « Wedging ring ». La seconde anomalie est les faux cernes (cernes surnuméraires) cernes additionnels ou « Falses rings », Et enfin La troisième anomalie cernes manquant ou absent sur toute la surface de la rondelle ou « Missing rings ». L'inter-datation visuelle entre différents transects/rayons sur les rondelles de bois a résolu tous ces problèmes d'anomalies rencontrés lors du marquage des cernes de croissances.

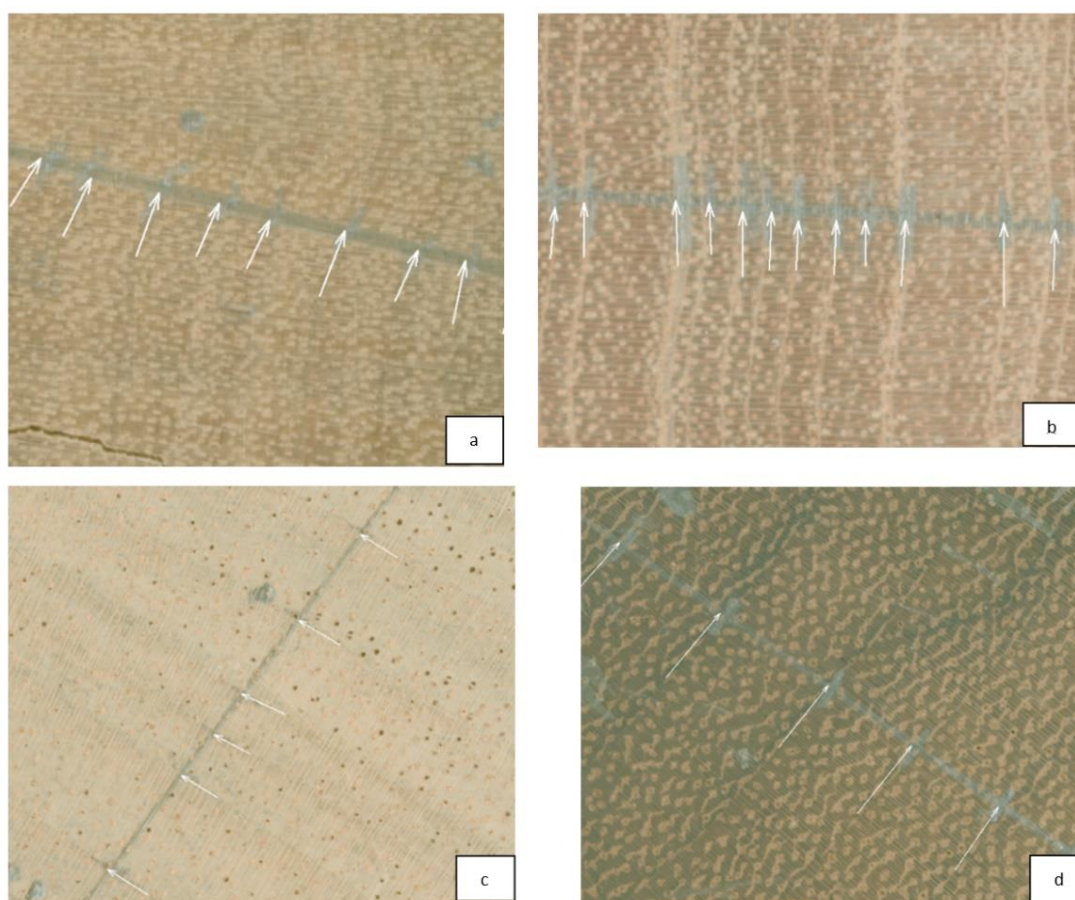


Fig. 2. Profil macroscopique de la section transversale des rondelles de bois avec les cernes de croissance marqués (flèches blanches), (a) *Mansonia altissima*; (b) *Entandrophragma cylindricum*; (c.) *Triplochiton scleroxylon* et (d) *Milicia excelsa*

3.2 RELATION ENTRE LA DYNAMIQUE DES CERNES ET L'AGE DES ARBRES

Les résultats des quatre espèces présentait une très grande différence d'âge/durée de vie par espèce. *E. cylindricum* et *M. altissima* avaient les plus longues durées de vies/âges, respectivement (1876-2013 soit 137 ans et 1887-2013 soit 126 ans) tandis que *M. excelsa* avait une durée de vie moyenne (1927-2013 soit 87 ans) et *T. scleroxylon* avait la durée de vie la plus courte (1948-2013 soit 67 ans) (Fig.3). Pour *E. cylindricum* la largeur de cerne moyenne est de 0,1 mm, la valeur minimum étant de 0,02 mm et la valeur maximum de 0,32 mm (Fig.3); chez *M. altissima* la largeur moyenne cerne est de 0,08 mm, les valeurs minimum et maximum sont respectivement de 0,03 et 0,17 mm (Fig.31 b); *M. excelsa* la largeur de cerne moyenne est de 0,2 mm, les valeurs maximale et minimale sont respectivement de 0,54 mm et 0,6 mm (Fig.3); enfin *T. scleroxylon* la largeur moyenne de cerne ici est de 0,13 mm, la valeur minimale de 0,36 mm puis la valeur maximale de 0,52 mm (Fig. 3).

3.3 ESTIMATION DE LA CROISSANCE DIAMÉTRIQUE

L'accroissement diamétrique moyen varie en fonction des espèces. Pour *E. cylindricum* cet accroissement est de $0,68 \pm 0,42 \text{ cm.an}^{-1}$; chez *M. altissima* de $0,71 \pm 0,31 \text{ cm.an}^{-1}$; chez *M. excelsa* de $0,64 \pm 0,29 \text{ cm.an}^{-1}$ et *T. scleroxylon* de $1,02 \pm 0,19 \text{ cm.an}^{-1}$. (Tableau 2) Les valeurs des accroissements annuels moyens de l'administration forestière pour ces espèces sont respectivement de $0,5 \text{ cm.an}^{-1}$ pour (*E. cylindricum*, *M. altissima* et *M. excelsa*) et de $0,9 \text{ cm.an}^{-1}$ pour *T. scleroxylon* [34], [35], (Tableau 1, 2). Les accroissements annuels moyens obtenus sont supérieures à ceux de l'administration forestière, plus spécifiquement chez *E. cylindricum* cette valeur d'accroissement est 136 % supérieure à celle de l'administration forestière. Chez *M. altissima* cette valeur d'accroissement est 142 % supérieure à celle de l'administration. Chez *M. excelsa* cette valeur est 128 % supérieure à celle de l'administration et enfin chez *T. scleroxylon* cette valeur est 133 % supérieure à celle de l'administration forestière.

Tableau 3. Accroissements annuels moyens (AAM) obtenus par notre étude

Espèces	Nombre d'arbre/transects	AAM \pm Ec (cm/an)
<i>E. cylindricum</i>	1/4	$0,68 \pm 0,42$
<i>M. altissima</i>	1/4	$0,71 \pm 0,31$
<i>M. excelsa</i>	1/6	$0,64 \pm 0,29$
<i>T. scleroxylon</i>	1/6	$1,02 \pm 0,19$

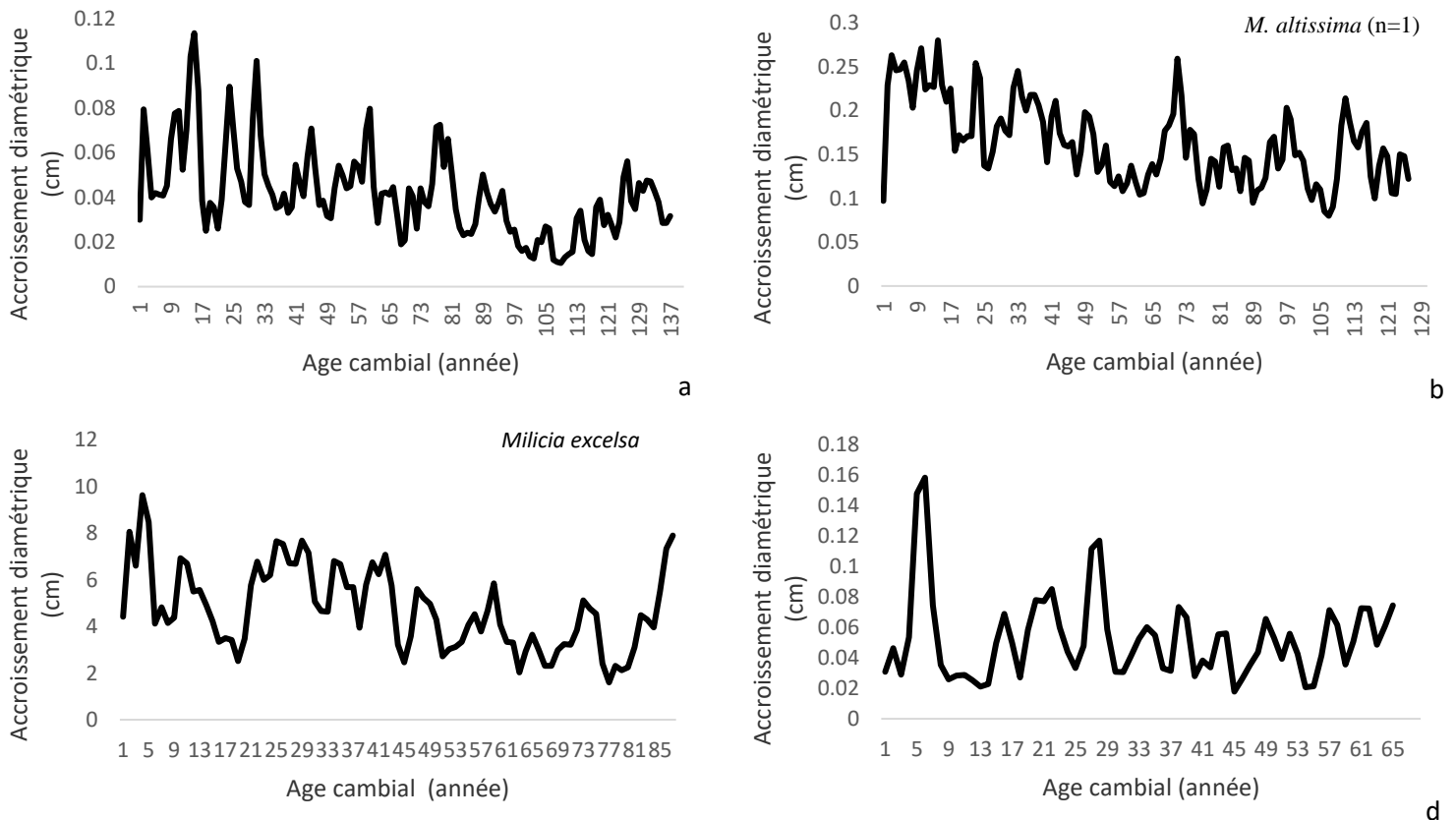


Fig. 3. Trajectoires de croissance (accroissements diamétriques cumulés) en fonction de la durée de vie (âge cambial) pour les quatre espèces des forêts semi-décidues du Cameroun: (a) *E. cylindricum*; (b) *M. altissima*; (c) *M. excelsa* et (d) *T. scleroxylon*

4 DISCUSSIONS

A la lumière des résultats de l'examen macroscopique des rondelles de bois a des neuf espèces, puis des trois qui ont permis de caractériser l'aspect visuel de ces dernières. Les espèces ayant un aubier/duramen différencié et la seule espèce présente un aubier/duramen non différencié. Ainsi que de la couleur de ces différentes parties pour chacune de ces espèces. Ces résultats sont accords avec ceux des précédents travaux sur les bois frais [37], [38], [39], [40] et avec quelques variations moindres de couleur pour les bois secs [36], [41], [47]. La possibilité d'analyse des cernes de croissance des neuf espèces forestières commerciales de la forêt tropicale

humide de la Région de l'Est Cameroun, la plupart de ces espèces forme des limites des cernes distincts [48], compte tenu des difficultés d'analyse l'étude s'est focalisée sur quatre espèces décidues: *E. cylindricum*, *M. altissima*, *M. excelsa* et *T. scleroxylon*. Le potentiel d'analyse des limites des cernes de croissance est bon (+) *M. excelsa* et élevé (++) *E. cylindricum*, *M. altissima* et *T. scleroxylon*. Pour ces quatre espèces, les problèmes rencontrés sont communs à ceux de la dendrochronologie tropicale (cernes étroits, faux cernes, cernes manquant, cernes discontinus et variation intra-annuelle de densité ressemblant à des limites des cernes) [31], [32]. Les zones où l'identification des cernes étaient difficile pendant le marquage de ces dernières sont les abords immédiats de la moelle ou cœur du bois (cernes juvéniles) et dans l'aubier juste en dessous de l'écorce, ceci en raison de la structure particulière du bois dans ces zones. Selon [49] les arbres qui croissent dans les conditions climatiques difficiles sont susceptible de développer de multiples cernes manquants. Dans la même optique, les cernes discontinus, partiels ou incomplets étaient le problème le plus important [20], [50]. Ces différents problèmes (anomalies) ont été mentionnés dans d'autres études et ont conduit les chercheurs précédents de recommander d'effectuer des mesures des cernes de croissance sur les rondelles de bois plutôt que dans les carottes de bois [51], [52], ce que nous recommandons de nouveau. Les corrections des différentes erreurs de mesure des cernes de croissance ont été faites par la vérification de la continuité de ces dernières sur toute la surface (circonférence) de la rondelle de bois, par une inter datation [52]. L'analyse des cernes de croissance des quatre espèces, pour la détermination de l'âge/durée de vie de chaque individu/arbre par espèce. Montre qu'*E. cylindricum* a 137 ans, *M. altissima* a 126 ans, *M. excelsa* a 87 ans et *T. scleroxylon* a 67 ans. Ces âges sont comparables à ceux obtenus sur les analyses des carottes ou *E. cylindricum* avait un âge moyen de 66 ans pour les cinq individus et ou *T. scleroxylon* avait un âge de 124 ans (Worbes et al. 2003). De plus ces résultats peuvent aussi être comparables à ceux obtenus sur l'analyse des cernes ou *E. cylindricum* avait un âge de 208 ans et *M. excelsa* avait un âge de 158 ans (Nzogang, 2009). Sur les valeurs de l'accroissement diamétrique, notre étude a approfondie les analyses sur quatre espèces en utilisant la méthode d'analyse des cernes de croissance. En général les valeurs d'accroissement obtenues par cette étude pour *E. cylindricum*, *M. altissima*, *M. excelsa* et *T. scleroxylon* sont respectivement de $(0,68 \pm 0,42; 0,71 \pm 0,31; 0,64 \pm 0,29$ et $1,02 \pm 0,19$ cm.an), ces valeurs sont supérieures à celles de l'administration forestière (0.5 et 0.9 cm.an). De même la valeur d'accroissement obtenu pour *T. scleroxylon* est supérieure aux autres valeurs, cette dernière est suivi de la valeur de *M. altissima* puis celle d'*E. cylindricum* et enfin celle de *M. excelsa*. Compte tenu de notre échantillonnage réduit 1 arbre/espèce. Il est fort possible que les accroissements annuels moyens de l'administration forestière sous-estime les accroissements obtenus par cette étude. Cette étude préliminaire avec pour but de tester la méthode d'analyse des cernes avant de se lancer sur de grandes études d'analyses de grandes envergures sur différentes espèces/essences tropicales. Les accroissements annuels moyens pour ces différentes espèces ont été fournis par d'autres études, faite par différents auteurs certaines ont été faite sur les parcelles permanentes, d'autres sur les analyses des cernes sur les rondelles de bois ou des carottes et enfin sur les marquages cambiaux. Pour *E. cylindricum* avec une valeur d'accroissement de $0,68 \pm 0,42$ cm.an est supérieur à toutes les valeurs des différentes études; au Ghana à travers les mesures répétées des circonférences, les accroissements annuels moyens variant de 0,4-0,5 cm.an [53]; par l'analyse des cernes, sur 154 rondelles de bois en RCA et un accroissement annuel moyen de $0,48 \pm 0,09$ cm.an [54]; avec un accroissement annuel moyen de 0,34 cm.an sur les 24 arbres ayant reçu des marquages cambiaux et des mesures dendrométriques et provenant du Cameroun, Côte d'Ivoire et RCA [32]; sur l'analyse des cernes de 15 rondelles de bois provenant du Cameroun avec un accroissement annuel de $0,64 \pm 0,19$ cm.an [55]; par un dispositif sylvicole en RCA sur 52 arbres avec un accroissement annuel moyen de $0,33 \pm 0,31$ cm.an provenant des mesures des parcelles permanentes [56]; sur des mesures pluriannuelles des circonférences en Côte d'Ivoire avec un accroissement annuel de $0,28 \pm 0,22$ cm.an [57]; pour les 104 rondelles de bois provenant de la RCA, avec un accroissement annuel $0,39/0,47$ cm.an [41]; par la datation au ^{14}C de 5 rondelle et carotte à Biakoa Cameroun pour un accroissement de $0,26 \pm 0,06$ cm.an [44]; par l'analyse des cernes des 75 rondelles provenant de Pallisco au Cameroun avec un accroissement annuel de $0,5 \pm 0,05$ cm.an [18]; sur 124 arbres provenant des placettes d'inventaire circulaires de Pallisco au Cameroun avec un accroissement de $0,51 \pm 0,16$ cm.an [58]; à Pallisco au Cameroun et à l'aide du marquage cambial de 39 arbres pour un accroissement annuel de $0,30-0,66$ cm.an [43]. Chez *M. altissima* avec une valeur d'accroissement de $0,71 \pm 0,31$ cm.an, étant supérieure à celle obtenu par l'analyse des cernes de 57 rondelles de bois en RCA, avec un accroissement annuel de $0,57$ cm.an chez [59]. Chez *M. excelsa* avec une valeur d'accroissement de $0,64 \pm 0,29$ cm.an qui est supérieure à celles obtenus au Ghana par des mesures répétées des circonférences, les accroissements annuels moyens variant de 0,4-0,5 cm.an [53]; par l'analyse des cernes de 11 rondelles en RCA, avec un accroissement annuel de $0,59 \pm 0,09$ cm.an [54]; par l'analyse des cernes de 45 rondelles de bois en RCA, avec un accroissement de $0,51 \pm 0,09$ cm.an [59]; pour l'analyse des cernes des de rondelles provenant de Pallisco au Cameroun avec un accroissement annuel de $0,55 \pm 0,05$ cm.an [18]. Chez *T. scleroxylon* avec une valeur d'accroissement de $1,02 \pm 0,19$ cm.an supérieure aux étude d'analyse des cernes sur 67 rondelles de bois en RCA et l'accroissement annuel moyen est de $0,92 \pm 0,15$ cm.an [54]; à travers les mesures répétées des circonférences avec des accroissements annuels moyens variant de 0,8-1 cm.an [53]; sur l'analyse des cernes de 18 rondelles de bois provenant de la RCA, avec un accroissement annuel $0,62 \pm 0,28$ cm.an [41]; par la datation au ^{14}C de 18 rondelles et carottes à Biakoa Cameroun pour un accroissement de $0,26 \pm 0,06$ cm.an [44]; sur l'analyse des cernes de 25 rondelles partielles (barreaux) provenant de Libongo au Cameroun avec un accroissement annuel de $0,51 \pm 0,02$ cm.an [42]; sur des mesures pluriannuelles des circonférences en Côte d'Ivoire avec un accroissement annuel de $0,94 \pm 0,53$ cm.an [57]; avec une valeur inférieure $1,02 \pm 0,19$ cm.an à celle obtenu, sur l'analyse des cernes de 20 rondelles de bois provenant du Cameroun avec un accroissement annuel de $1,38 \pm 0,44$ cm.an [55]; avec des intervalles de valeur inférieure et supérieure $1,02 \pm 0,19$ cm.an à celle obtenu dont l'accroissement annuel moyen est de $0,50-1,72$ cm.an sur les 17 arbres ayant reçu des marquages cambiaux et des mesures dendrométriques et provenant du Cameroun, Côte d'Ivoire et RCA [31]; par l'analyse des cernes avec Arc Map de 25 scans de rondelles de Mbang au Cameroun, pour des accroissements annuels de $0,45-1,14$ cm.an [21] (Tableau. 3)

Tableau 4. Accroissements annuels moyens (AAM) de quelques études dans les forêts tropicales humides d'Afrique Central et de l'Ouest

Espèces	N	AAM (cm.an)	Ecart-type	Période/nbre d'année	Type de mesure	Localité	Référence
<i>E. cylindricum</i>	---	0,4-0,5	---	---	Mesure des circonférences	Ghana	[53]
	154	0,48	0,09	---	Analyse des cernes	Sud-Ouest-RCA	[54]
	25	0,34	---	1965-1973	Marquage cambial et mesure dendrométrique	Cameroun, Côte d'Ivoire et RCA	[32]
	15	0,64	0,19	---	Analyse des cernes	API Dimako-Cameroun	[55]
	52	0,33	0,31	1987-1995	Dispositif d'études sylvicoles	Mbaïki-RCA	[56]
	---	0,28	0,22	14 ans	Mesure pluriannuelle des circonférences	Mopri Côte d'Ivoire	[57]
	104	0,39*/0,47**	0,09*/0,19**	---	Analyse des cernes	Sangha Mbaéré-RCA	[41]
	5	0,24	0,06	0-114	Datation au ¹⁴ C des carottes	Biakoa Cameroun	[44]
	75	0,50	0,05	1975-2005	Analyse des cernes	2 UFA de PALLISCO-Cameroun	[18]
	25	0,19	0,02	1800-2000	Analyse des cernes	Libongo-Cameroun	[42]
	124	0,51	0,06	2009-2012	Placettes d'inventaire circulaires	6 UFA de PALLISCO-Cameroun	[58]
	39	0,30-0,66	0,05-0,08	2010-2012	Marquage séquentielle du cambium	6 UFA de PALLISCO-Cameroun	[43]
<i>M. altissima</i>	57	0,57			Analyse des cernes	Sud-Ouest-RCA	[59]
<i>M. excelsa</i>	---	0,4-0,5	---	---	Mesure des circonférences	Ghana	[53]
	11	0,51	0,09	---	Analyse des cernes	Sud-Ouest-RCA	[54]
	45	0,55	0,12		Analyse des cernes	Sud-Ouest-RCA	[59]
	34	0,55	0,05	1975-2005	Analyse des cernes	2 UFA de PALLISCO-Cameroun	[18]
<i>T. scleroxylon</i>	67	0,92	0,15		Analyse des cernes	Sud-Ouest-RCA	[54]
	17	0,50-1,72	---	1965-1974	Marquage cambial et mesure dendrométrique	Cameroun, Côte d'Ivoire et RCA	[31]
		0,8-1	---	---	mesure des circonférences	Ghana	[53]
	20	1,38	0,44	---	Analyse des cernes	API Dimako-Cameroun	[55]
	---	0,94	0,53	14 ans	Mesure pluriannuelle des circonférences	Mopri-Côte d'Ivoire	[57]
	34	1,11	0,28	---	Analyse des cernes	Sangha Mbaéré-RCA	[41]
	18	0,62	0,28	0-219	Datation au ¹⁴ C des carottes	Biakoa Cameroun	[44]
	25	0,51	0,02	1800-2000	Analyse des cernes	Libongo-Cameroun	[42]
25	0,45-1,14	---	90-229	Analyse des cernes avec Arc Map	Mbang-Cameroun	[21]	

5 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Pour les neuf espèces étudiées un dépistage des limites des cernes distincts a été réalisé, et sur la base de ce dernier, les analyses des cernes ont été réalisées sur un sous échantillon de quatre d'entre elles présentant des limites des cernes de croissance distinctes (*E.cylindricum*; *M. altissima*; *M. excelsa* et *T. scleroxylon*). La méthode d'analyses des cernes permet d'avoir les information précise et rapide d'essences-locales d'accroissements annuels et d'âge, qui peuvent être utilisé pour faire des prévisions et évaluer l'aménagement forestier. L'analyse des cernes ne fournit évidemment que des taux de croissance des arbres sur pieds ou vivants. La combinaison de ces taux de croissance avec des données de survie et de régénération des PP dans les mêmes forêts permettrait des simulations réalistes de la croissance de ces arbres. Une telle analyse permettrait une évaluation plus précise des conséquences de l'exploitation forestière. Cette étude peut constituer le début d'une meilleure base d'informations pour la gestion durable des forêts en l'Afrique Central. Nous recommandons de se focaliser sur toutes les essences tropicales produisant les cernes distincts, et de collecter le plus des rondelles possibles par espèces afin d'avoir les données précise et de faire des projections sur pour la gestion durable des forêts.

REMERCIEMENTS

Cette étude a bénéficié de l'appui financier de la Coopération Belge au Développement et du Musée Royal de l'Afrique Centrale (MRAC) à travers les stages groupés en Biologie du Bois. Nos remerciements vont aussi au Pr Hans Beeckman pour ses conseils dans la phase de collectes des données et le séjour de recherches dans le laboratoire d'anatomie du bois du MRAC. Le Dr Maaïke de Ridder pour l'appui dans l'analyse des cernes de croissance. Et à la famille Decolvenaere (Fredy et Guy), et au personnel de la SFIL-GDC.

REFERENCES

- [1] Ph. Mayaux, B. Desclée, R. Nasi, A. Billand, P. Defourny, R. Eba'a Atyi, (eds.), *The Forests of the Congo Basin – State of the Forest*. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 276p. <http://dx.doi.org/10.2788/47210>. ISBN: 978-92-79-22716-5. 2010.
- [2] N. Bayol, B. Demarquez, C. de Wasseige, R. Eba'a Atyi, J.-F. Fisher, R. Nasi, A. Pasquier, X. Rossi, M. Steil, C. Vivien, *Forest management and the timber sector in Central Africa*, in: C. de Wasseige, P. de Marcken, N. Bayol, F. Hiol Hiol, Ph. Mayaux, B. Desclée, R. Nasi, A. Billand, P. Defourny, R. Eba'a Atyi, (eds.), *The Forests of the Congo Basin – State of the Forest 2010*. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 276p. <http://dx.doi.org/10.2788/47210>. ISBN: 978-92-79-22716-5. 2012.
- [3] A. Sarre, C. Sobogal, *Is SFM impossible dream? Unasyuva*. (pp. 26-34). 2013.
- [4] N. Picard, S. Gourlet-fleury, *Manuel de référence pour l'installation de dispositifs permanents en forêt de production dans le Bassin du Congo*. COMIFAC, 265 p, 2008. [Online] Disponible: <http://hal.cirad.fr/cirad-00339816> (June 5, 2020).
- [5] G.B. Chuyong, R. Condit, D. Kenfack, E.C. Losso, S. Nsanyi Moses, N.C. Songwe, et al. "Korup forest dynamics plot, Cameroon," in *Tropical Forest Diversity and Dynamism: Findings from a Large-Scale Plot Network*, (eds) Losos E. C. and Leigh E. G. (Chicago, IL: University of Chicago Press), pp. 506–516. 2004.
- [6] L.S. Lewis, G. López-Gonzalez, B. Sonké, K. Affum-Baffo, T.R. Barker, L.O. Ojo, O.L. Phillips, J.M. Reitsma, L. White, J.A. Comiskey, M.N. Djuikouo Kamdem, C.E.N. Ewango, T.R. Feuldpausch, A.C. Hamilton, M. Gloor, T. Hart, A. Haldik, et al. *Increasing carbon storage in intact African tropical forest*. *Nature*, 457, pp. 1003-1006. 2009a.
- [7] S.L. Lewis, J. Llyod, S. Sitch, E.T.A. Mitchard, and W.F. Laurance, *Changing Ecology of Tropical Forests: Evidence and Drivers*. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 40, pp. 529-549. 2009b.
- [8] N. Picard, S. Magnussen, L.N. Banak, S. Namkossereña, Y. Yalibanda, *Permanent sample plots for natural tropical forests: a rationale with special emphasis on Central Africa*. *Environmental Monitoring Assessment*, 164, pp.279–295. 2010.
- [9] L. Poorter, F. Bongers, R.S.A.R. Van Rompaey, M. De Klerk, *Regeneration of canopy tree species at five sites in West African moist forest*. *Forest Ecology and Management* 84, pp.61–69. 1996.
- [10] J.S. Hall, D.J. Harris, V. Medjibe, P.M.S. Ashton, *The effects of selective logging on forest structure and tree species composition in a Central African forest: implications for management of conservation areas*. *Forest Ecology and Management*. 183, pp. 249–264. 2003.
- [11] M. Martinez-Ramos, E.R. Alvarez-Buylla, *How hold are tropical rainforest tree?* pp. 400-405. 1998.
- [12] R.J.W. Brienen, P.A. Zuidema, *The use of tree rings in tropical forest management: projecting timber yields of four Bolivian tree species*. *Forest Ecology and Management*, 226, pp. 256–267.2006a. doi: 10.1016/j.foreco.2006.01.038.
- [13] R.J.W. Brienen, P.A. Zuidema, *Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis*. *Journal of Ecology*, 94, pp. 481–493. 2006b. doi: 10.1111/j.1365-2745.2005.01080.x.
- [14] J. Schöngart, B. Orthmann, K.J. Hennenberg, S. Porembski, M. Worbes, *Climate-growth relationships of tropical tree species in West Africa and their potential for climate reconstruction*. *Global Change. Biology*, 12, pp. 1139–1150. 2006. doi: 10.1111/j.1365-2486.2006.01154.x.
- [15] D.M.A. Rozendaal, C.C. Soliz-Gamboa, P.A. Zuidema, *Timber yield projections for tropical tree species: the influence of fast juvenile growth on timber volume recovery*. *Forest Ecology and Management*, 259, pp. 2292–2300. 2010. <https://doi.org/10.1616/j.foreco.2010.02.030>.
- [16] L. López, R. Villalba, F. Bravo, *Cumulative diameter growth and biological rotation age for seven tree species in the Cerrado biogeographical province of Bolivia*. *Forest Ecology and Management*, 292, pp. 49-55. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.12.011>.
- [17] R.J.W. Brienen, J. Schongart, P.A. Zuidema, *Tree rings in tropics: Insights into ecology and climate sensitivity of tropical trees*. In G. Goldstein, L.S Santiago, (eds.), *Tropical Tree Physiology*, 439-461pp. Springer International Publishing Switzerland *Tree Physiology* 6. 2016. DOI 10.1007/978-3-319-27422-5_20.
- [18] A. Nzogang, *Tropical forest dynamics after logging - natural regeneration and growth of commercial tree species - in southeast Cameroon*, PhD Thesis, Doctor, Faculty of Forest and Environmental Sciences, Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg im Breisgau, Germany, 220 p. 2009.
- [19] M. De Ridder, J. van den Bulcke, J. van Acker, H. Beeckman, *Tree-ring analysis of an African long-lived pioneer species as a tool for sustainable forest management*. *Forest Ecology and Management*, 304, pp. 417–426. 2013b. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2013.05.007>.
- [20] P. Groenendijk, U. Sass-Klaassen, F. Bongers, P.A. Zuidema, *Potential of tree-ring analysis in a wet tropical forest: A case study on 22 commercial tree species in Central Africa*. *Forest Ecology and Management*, 323, pp. 65-78. 2014.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2014.03.037>.

- [21] G. Ligot, A. Fayolle, S. Gourlet-Fleury, K. Dainou, J.F. Gillet, M. De Ridder, T. Drouet, P. Groenendijk, J.L. Doucet, Growth determinants of timber species *Triplochiton scleroxylon* and implications for forest management in central Africa. *For. Ecol. Manage.* 437, pp. 211-221. 2019. doi: 10.1016/j.foreco.2019.01.042.
- [22] SFIL (Société Forestière Industrielle de la Lekoundjé). Plan d'aménagement de l'UFA 10 025 - Concession n°1070 In SFIL, 2009. Douala - Cameroun.
- [23] A. Jones, H. Breuning-Madsen, M. Brossard, A. Dampha, J. Deckers, O. Dewitte, T. Gallali, S. Hallett, R. Jones, M. Kilasara, Soil atlas of Africa. European Commission, Office of the European Union. 173p. 2013.
- [24] D. Martin, P. Segalen, Notice explicative. Carte pédologique du Cameroun oriental au 1/1000000. Centre O.R.S.T.O.M. de Yaoundé, Cameroun. O.R.S.T.O.M., Paris, France. 134p. 1966.
- [25] W. Köppen, Das geographische System der Klimate, in: *Handbuch der Klimatologie*, edited by: Köppen, W. und Geiger, G., 1. C. "Gebr, Borntraeger, 1–44. 1936.
- [26] M. Worbes, How to measure growth dynamics in tropical trees. *IAWA Journal*, 16 (4), pp. 337-351. 1995. doi: 10.1163/22941932-90001424.
- [27] F. White, The Vegetation of Africa. A Descriptive Memoir to accompany the UNESCO/AETFAT/UNSO Vegetation Map of Africa. In: *Natural Resources Research Report XX*. Paris, France. 351p. 1983. ISBN 92-3-101955-4. doi: 10.2307/2260340.
- [28] Letouzey, R. Etude phytogéographique du Cameroun. Editions Paul Lechevalier, Paris France 511 p. 1968.
- [29] F.C. Hummel, The formation of growth rings in *Entandrophragma macrophyllum* A. Chev. and *Khaya grandifoliola* C. DC. *Empire Forestry Review*, 25, pp. 103-107. 1946.
- [30] R.G. Lowe, Periodic growth in *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. Federation of Nigeria Department Forest Research Technical Note No. 13, pp. 150-163. 1961.
- [31] P. Détiénne, A. Mariaux, Nature et périodicité des cernes dans le bois de Samba. *Revue Bois et Forêts des Tropiques*, 169, pp. 29–35. 1976.
- [32] P., Détiénne, A. Mariaux, Nature et périodicité des cernes dans le bois rouge de méliacées africaines. *Revue Bois et Forêts des Tropiques*, 175, 52–61. 1977.
- [33] P. Détiénne, Appearance and periodicity of growth rings in some tropical woods. *IAWA Bulletin n.s.*, 10 (2), pp. 123–132. 1989.
- [34] MINEF (Ministère de l'Environnement et des Forêts), Arrêté n° 0222/A/ MINEF du 25 mai 2002 et ses fiches techniques, fixant les procédures d'élaboration, d'approbation, de suivi et de contrôle de la mise en œuvre des plans d'aménagement des forêts de production du domaine permanent. Yaoundé, Cameroun 100 pp.2001.
- [35] MINEF (Ministère de l'Environnement et des Forêts), 1999. Logiciel TIAMA, Traitement des Inventaires Appliqué à la Modélisation des Aménagements, Manuel d'utilisation, Yaoundé, Cameroun.
- [36] M. Chudnoff, Tropical timber of the world. Forest product laboratory/Forest Service/Department of Agriculture, United States. pp 319-538. 1980.
- [37] J. Vivien, J.J. Faure, Arbres des forêts denses d'Afrique Centrale. ACCTechnique - Agence de Coopération Culturelle et Technique, Paris, France. 565p. 1985.
- [38] CIRAD (Centre International pour la Recherche Agronomique et le Développement), Tropix 7.0: Technological Characteristics of 245 Species Tropical Wood Species. 2011.
- [39] J. Vivien, J.J. Faure, Arbres des forêts denses d'Afrique Centrale. COMIFAC, GIZ, TNS et FRM, Saint Berthevin, France, 945 p. 2011.
- [40] PROTA (Plant Resources of Tropical Africa), Timbers 1. 7 (1) PROTA Foundation, Wageningen, Netherlands/CTA, Wageningen – Netherlands.804p. 2012.
- [41] P. Détiénne, F. Oyono, L. Durrieu de Madron B. Demarquez, Nasi, R. 1998. L'analyse de cernes: applications aux études de croissance de quelques essences en peuplements naturels de forêt dense africaine. Cirad-Série Forafri N°15, Montpellier, France. 43p.
- [42] G. Battipaglia, E. Zalloni, S. Castaldi, F. Marzaioli, R. Valentini, Long Tree-Ring Chronologies Provide Evidence of Recent Tree Growth Decrease in a Central African Tropical Forest. *Journal. PLOS ONE* pp. 1-21. 2015. doi: 10.1371/.0120962.
- [43] F. Fétéké, A. Fayolle, K. Dainou, N. Bourlands, A. Dié, P. Lejeune, J.L. Doucet, H. Beeckman, Variation saisonnière de la croissance diamétrique et phénologique foliaire et reproductive de trois espèces ligneuses commerciales d'Afrique centrale. *Bois et Forêts des Tropiques*, 330 (4), pp. 3-21. 2016.
- [44] M. Worbes, R., Staschel, A., Roloff, W.J. Junk, Tree ring analysis reveals age structure, dynamics and wood production of a natural forest stand in Cameroon. *Forest Ecology and Management*, 173, pp.105–123. 2003. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00814-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00814-3).
- [45] D.E. Lyamabo, Some aspects of girth and radial growth patterns of *Triplochiton scleroxylon* K. Schum. *Nigeria agricultural*, 6, pp. 51-57. 1971.
- [46] Schneider, C., A., Rasband, W., S., Eliceiri, K.W. NIH image to image J: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, 9 (7), pp. 671-675. 2012. doi: 10.1038/nmeth.2089.
- [47] H.G. Richter, and M.J. Dallwitz, onwards. Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. 2000. In English, French, German, Portuguese, and Spanish. Version: 9th April 2019. delta-intkey.com.

- [48] E.A. Wheeler, InsideWood - A web resource for hardwood anatomy. IAWA Journal, 32, pp. 199-211. 2011. www.insidewood.lib.ncsu.edu.
- [49] T.H.G. Wils, U.G.W. Sass-klaassen, Z. Eshetu, A. Bräuning, A. Gebrekirstos, C. Couralet, I. Robertson, R. Touchan, M. Koprowski, D. Conway, K.R. Briffa, H., Beeckman, Dendrochronology in the dry tropics: the Ethiopian case. *Trees* 25, pp. 345–354. 2010.
- [50] V. Trouet, J. Esper, H. Beeckman, Climate-growth relationships of *Brachystegia spiciformis* from the Miombo woodland in south central Africa. *Dendrochronologia* 28, pp. 161–171. 2010.
- [51] M. Worbes, One hundred years of tree-ring research in the tropics – a brief history and an outlook to future challenges. *Dendrochronologia*. 20, pp. 217–231. 2002.
- [52] R.J.W. Brienen, P.A. Zuidema, Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: a test for six species using tree ring analysis. *Oecologia*, 146, pp. 1–12. 2005. doi: 10.1007/s00442-005-0160-y.
- [53] D. Adler, Natural forest increment, growth and yield. In: Ghana forest inventory project seminar proceedings 29 - 3 march 1989 Wong J.L.G. & Dunn R.M (ed.), Overseas Development Administration (UK) /Ghana Forestry Department pp 47-52. 1989.
- [54] PROJET FAC 192. Etudes préalables à l'aménagement de la forêt dense - 3ème partie: études d'accroissement. M.T.E.F.C.P. (République Centrafricaine) 105p. 1975.
- [55] J.-L. Jardin, Etude de la croissance de l'ayous (*Triplochiton scleroxylon*), du sapelli (*Entandophragma cylindricum*), et du fraké (*Terminalia superba*) par analyse de cernes. Projet aménagement pilote intégré de Dimako. Ministère de l'Environnement et des Forêts, 1995. Douala, Cameroun.
- [56] F. Bedel, L. Durrieu de Madron, B. Dupuy, - Dynamique de croissance dans des peuplements exploités et éclaircis de forêt dense africaine: le dispositif de M'Baïki en République Centrafricaine (1982 - 1995). Projet FORAFRI 60 p. 1997.
- [57] L. Durrieu de Madron, V. Favrichon, B. Dupuy, A. Bar Hen, L. Houde, H.F. Maitre, Croissance et productivité en forêt dense humide: bilan des expérimentations dans le dispositif de Mopri, Côte d'Ivoire (1978-1992). Projet FORAFRI 75p. 1997.
- [58] F. Fétéké, J. Perin, A. Fayolle, K. Dainou, N. Bourland, Y.L. Kouadio, S.J.J. Moneye, C.-C. Bekono. M.Y. Liboum, J.-L. Doucet, Modéliser la croissance de quatre essences pour améliorer la gestion forestière au Cameroun. *Bois et Forêts des Tropiques*, 325, 5-20. 2015.
- [59] L. Durrieu de Madron Accroissement diamétrique du bété et de l'iroko. *Bois et Forêts des Tropiques*, Note de Recherche N° 275 (1). 2003.