

## Estimation de la croissance d'essences tropicales africaines à travers une méthode basée sur l'utilisation des outils SIG

### [ Estimating the growth of tropical African species through a method based on the use of GIS tools ]

C. Ilunga<sup>1</sup>, J. Komba<sup>2</sup>, F. Mbayu<sup>1</sup>, P. Sabongo<sup>3</sup>, and L. Ndjele<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Faculté de gestion de ressources naturelles renouvelables, Université de Kisangani, RD Congo

<sup>2</sup>Compagnie Forestière et de Transformation, RD Congo

<sup>3</sup>Faculté de Sciences, Université de Kisangani, RD Congo

Copyright © 2017 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:** Data relative to trees growth rates seems fragmentary for many tropical species in the Congo Basin, and several studies question the growth diameter values used by the government. In this study, an approach for tree-ring measurement using Geographic Information System tools (softwares ArcMap and Photoscan) was tested on two commercial species from tropical African rainforest (Iroko- *Milicia excelsa* and Afrormosia- *Pericopsis elata*). The aim of this study was to evaluate the precision gain of the GIS tools used in the estimates of diameter increments and to compare the results with the values recommended by the Congolese Forest Administration (DRC). Diameter increments were calculated through semi-automatic procedure to the nearest  $10^{-5}$  mm. For all classes of diameter, the mean annual increment is 6.65mm/year for iroko and 4.66mm/year for afrormosia. We observe that the values used by the forest authority (5mm/year and 4 mm/year for iroko and afrormosia respectively) seem to under-estimate growth rhythms. The method used can be applied to other commercial tree species with distinct and annual tree-rings for providing new data in order to fill knowledge gaps on the growth rates of tropical trees.

**KEYWORDS:** Diameter increment, tree-ring analysis, Geographic information system, semi-deciduous forest, Democratic Republic of Congo.

**RESUME:** Les données sur les rythmes de croissance des arbres sont fragmentaires pour de nombreuses essences commerciales dans le Bassin du Congo, et plusieurs études mettent en doute les valeurs de paramètres dendrométriques fournies par l'administration forestière. Dans cette étude, une approche d'analyse de cernes, basée essentiellement sur l'utilisation des outils Système d'information Géographique (logiciels ArcMap et Photoscan), a été expérimenté sur deux essences commerciales de forêts d'Afrique tropicale (Iroko- *Milicia excelsa* et Afrormosia- *Pericopsis elata*). L'objectif de ce travail a été d'évaluer le gain de précision que fourniraient les outils SIG utilisés dans les estimations d'accroissements et de comparer les résultats à aux valeurs préconisées par l'administration forestière congolaise (RDC). Les accroissements ont été calculés à travers une procédure semi-automatique avec une précision de  $10^{-5}$ mm près. Pour toutes les classes de diamètres confondues, les valeurs d'accroissement annuel moyen sont de 6,65 mm/an pour l'iroko et 4,66 mm/an pour l'afrormosia. Nous constatons que les valeurs fixées par l'administration forestière (5 mm/an et 4 mm/an respectivement pour l'iroko et l'afrormosia) semblent sous-estimer les accroissements. La méthode utilisée mérite d'être appliquée à d'autres essences commerciales à cernes distincts et annuels pour fournir de nouvelles données et combler notamment les fossés de connaissances sur les rythmes de croissance des arbres tropicaux.

**MOTS-CLEFS:** Croissance diamétrique, analyse de cernes, Système d'information géographique, forêts semi-décidues, République Démocratique du Congo.

## 1 INTRODUCTION

Les connaissances sur les rythmes de croissance ne sont pas bien connues pour de nombreuses espèces tropicales du Bassin du Congo [1], [2]. Or, ces données sont importantes pour appliquer les stratégies d'aménagement durable qui reposent essentiellement sur deux principes: la garantie de la reconstitution du stock exploitable et la planification de la récolte dans l'espace et dans le temps afin de garantir une régularité de l'approvisionnement en bois [3], [4]. La vitesse de croissance des arbres est particulièrement l'un des paramètres clés qui détermine le renouvellement du stock exploitable.

Plusieurs méthodes et techniques sont de nos jours connues pour estimer les rythmes de croissance des arbres [5]. A notre connaissance, deux techniques sont couramment employées en Afrique tropicale : les mesures répétées de diamètre pendant une période donnée et l'analyse de cernes. Les mesures répétées de diamètre sont employées, depuis plusieurs années, au sein d'un grand nombre de dispositifs permanents de suivi disséminés le Bassin du Congo. Bien que les dispositifs permanents aient significativement contribué à l'acquisition de principales données utilisées par les administrations forestières, la plupart des expériences de suivi périodique de croissance n'ont pas été menées sur une période suffisamment longue pour couvrir la vie d'un arbre (plus de 30 ans) [6]. Or, une période assez longue de suivi ( $\geq 30$  ans) est nécessaire pour obtenir des estimations fiables de taux de croissance des arbres, étant donné que la vitesse de croissance varie en fonction de stade de développement (âge) des arbres et des conditions environnementales.

Parallèlement aux dispositifs permanents, les analyses de cernes sont aussi utilisées pour les estimations de croissance des arbres, particulièrement sur les espèces possédant de cernes bien visibles et anatomiquement distincts avec une périodicité de formation connue. Les techniques d'analyse de cernes permettent de réaliser de mesures directes d'accroissement diamétrique sur la section transversale d'un arbre; et à partir du moment où une date (ou année) est attribuée à chaque cerne, on parle de la dendrochronologie. De par sa capacité de retracer l'histoire des arbres dans les cernes, la dendrochronologie est une discipline de plus en plus utilisée présentant de nombreuses opportunités de recherche pour évaluer l'impact des conditions environnementales sur la croissance des espèces et comprendre la dynamique des forêts tropicales [7], [8], [9], [10], [11]. L'analyse de cernes présuppose une préparation des échantillons de bois par deux différentes techniques: la coupe sur l'échantillon fraîchement récolté à l'aide d'un outil tranchant type cutter (planage) ou le ponçage de la surface de bois après séchage [12]. Bien que le ponçage présente de nombreux avantages (gain de temps et amélioration de la surface à traiter), certains redoutent un rétrécissement de largeurs de cernes pendant le séchage, ce qui peut induire une modification d'informations par rapport à l'échantillon frais. Pour surmonter ce problème de rétrécissement et d'autres limites de méthodes d'analyses actuellement utilisées, Latte et al. [13] a mis au point une approche de préparation d'échantillons de bois et de mesures de largeurs de cerne. Cette approche se base sur les potentialités fournies par les outils informatiques en Géomatique, notamment les logiciels de traitements d'images et le Système d'Information Géographique (SIG). Pouvant permettre les mesures sur des arbres très volumineux, la méthode préconisée par Latte et collaborateurs offre les possibilités d'analyses de cernes sur les espèces de forêts tropicales.

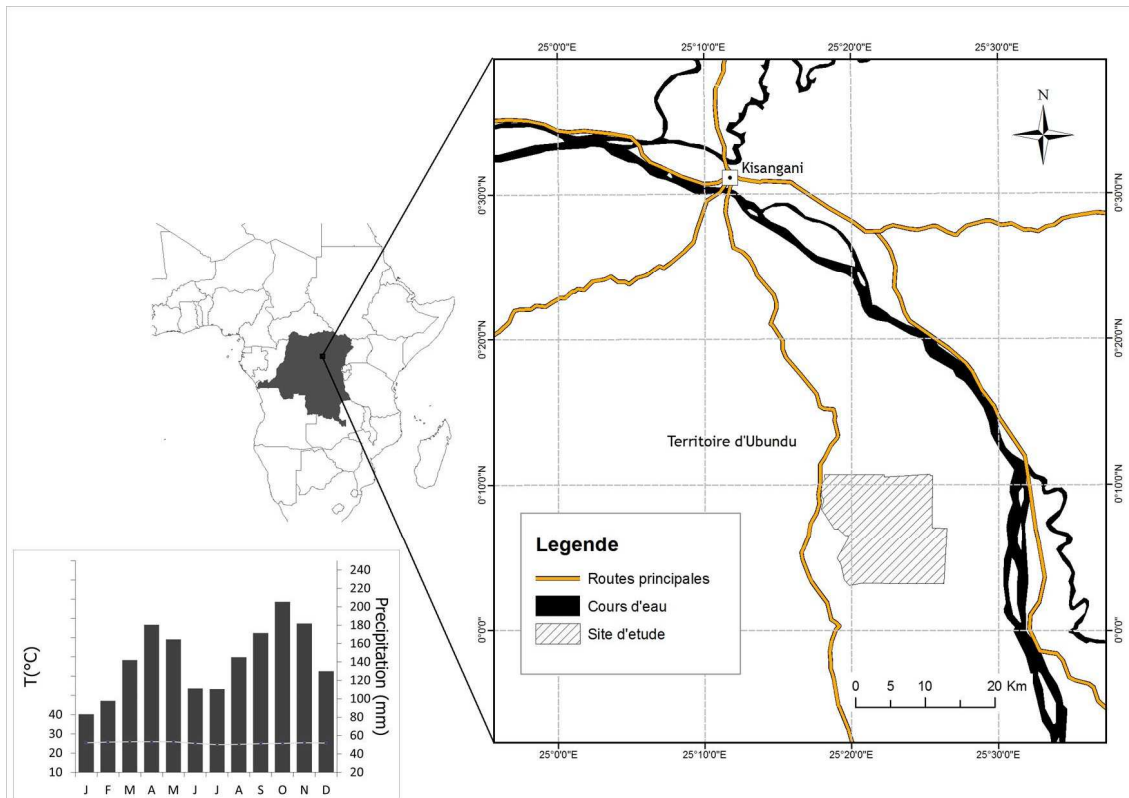
Dans cette étude, cette méthode d'analyses de cernes récemment développée a été expérimentée sur deux espèces ligneuses tropicales d'Afrique Centrale, l'Afromosia (*Pericopsis elata* (Harms) Van Meeuwen) et l'Iroko (*Milicia excelsa* (Welw.) C.C. Berg). L'objectif de ce travail a été, d'une part, d'évaluer le gain de précision que fourniraient les outils SIG utilisés dans les mesures de largeurs de cernes, et d'autre part, de comparer à titre exploratoire les valeurs d'accroissement obtenues à celles préconisées par l'administration forestière congolaise.

## 2 MATERIEL ET METHODES

### 2.1 SITE D'ÉTUDE

L'étude a été réalisée avec l'appui technique de la Compagnie Forestière et de Transformation (CFT), opérant au Nord-Est de la RDC. Les échantillons ont été prélevés précisément au sein de la Concession 046/11 de la dite société, située au sud de la ville de Kisangani, entre 0°30' Nord à 0°10' Sud de latitude et 25°00' à 25°35' de longitude Est (Fig.1). La forêt tropicale de la région fait partie de la zone de végétation "Guinéo-Congolaise" définie par Ndjele [14] et recèle un massif forestier doté d'une grande diversité de formations végétales, parmi lesquelles on peut citer les forêts à Limbali (*Gilbertiodendron dewevrei*), les forêts à forte abondance de Bomanga (*Brachystegia laurentii*) et les peuplements jeunes présentant des espèces exploitables telles que l'Acajou d'Afrique (*Khaya anthotheca*), le Sapeli (*Entandrophragma cylindricum*), l'Afromosia (*Pericopsis elata*) et l'Iroko (*Milicia excelsa*). Dans cette région, le relief est relativement plat (Pente <10%). Le sol composé d'un mélange d'argile et de sable, présente de bonnes propriétés chimiques, mais sa fertilité chimique est limitée à cause de la faible capacité d'échange cationique (2-8 mEq/100g), la faible acidité (pH 3,5-5,5) ainsi que la faible rétention du phosphore sur les oxydes de Fer [15]. Le climat de la région correspond au type Af, suivant le système de classification de Köppen [16]. La moyenne annuelle de précipitation varie entre 1500 et 2000 mm et il n'existe pas de saison sèche au sens strict (mois de précipitations < 50 mm),

bien que les périodes Janvier-Février et Juin-Juillet sont particulièrement dominées par des conditions sèches. La température moyenne annuelle est de 25°C avec de variations interannuelles faibles ; et l'humidité annuelle moyenne varie entre 90% et 95% [17].



**Fig.1. Localisation géographique du site d'étude dans la région de Kisangani (République Démocratique du Congo). La zone hachurée représente l'aire de la concession où les échantillons de bois ont été prélevés. Le diagramme ombrothermique a été construit à partir des données météorologiques de l'aéroport de Kisangani pour la période de 1976-2005 [18].**

## 2.2 ESPÈCES CIBLÉES

*M. excelsa* (Welw.) C.C. Berg (Iroko) et *P. elata* (Harms) Meeuwen (Afromosa/ Assamela) sont les deux espèces ciblées dans le cadre de notre expérimentation. Les informations générales sur ces deux essences forestières sont présentées dans le tableau 1. *M. excelsa* est une espèce largement distribuée dans l'ensemble des forêts tropicales d'Afrique Occidentale, Centrale, Australe [19], [20], [21]. Par contre, *P. elata* est une espèce grégaire qui a une distribution discontinue en Afrique Centrale [15], [17]. Les deux espèces sont exploitées pour le bois dans les pays du Bassin du Congo: Cameroun, Gabon, Congo, République Démocratique du Congo (RDC), République centrafricaine. En RDC, l'afromorsia et l'iroko représentaient respectivement 10% et 7% de la production nationale, estimée à environ 4 millions de mètres cubes (m<sup>3</sup>) en 2007 [22], [23]. A cause de la surexploitation dans certains pays, *M. excelsa* et *P. elata* figurent actuellement parmi les espèces menacées d'extinction (liste rouge des essences ligneuses de l'UICN et/ou CITES) [24].

**Tableau 1. Brève description des espèces ciblées. DME : Diamètre Minimum d'Exploitation, AAM : Accroissement Annuel Moyen [25]; Distribution géographique : Ac- Afrique Centrale, Ao- Afrique de l'Ouest, Ae- Afrique de l'Est ; Habitat : Fs-Forêts denses sempervirentes, Fd- Forêts denses semi-decidues/decidues, Sv- savanes (Source : African Plants Database<sup>1</sup>)**

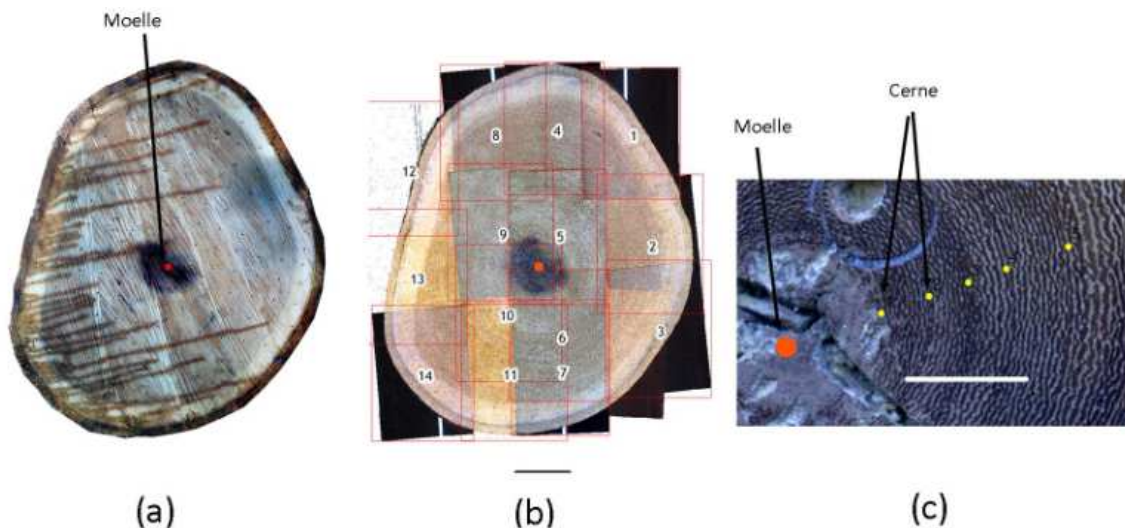
Espèces	Famille botanique	Nom commercial	DME (cm)	AAM réf (mm/an)	Distribution géographique	Habitat
P. elata	Fabaceae	Afrormosia/Assamela	60	4	Ao, Ac	Fs, Fd, Sv
M. excelsa	Moraceae	Iroko / Kambala	80	5	Ac, Ao, Ae	Fd

### 2.3 ECHANTILLONNAGE ET PREPARATION DES ECHANTILLONS DE BOIS

Un total de 11 rondelles d'Iroko et 5 d'afroformosia ont été prélevées sur des arbres abattus au sein de l'Assiette Annuelle de Coupe 2014 de la concession de la CFT. Pour l'afroformosia, le nombre d'arbres échantillonnés est davantage réduit suite notamment à certaines contraintes liées à l'abattage des espèces CITES dont elle fait partie. Les rondelles prélevées correspondent à des disques de 10 à 15 cm d'épaisseur et de diamètre supérieur ou égal au DME de deux espèces. La première étape de la préparation a consisté à prendre des photos de la surface des disques de tige avec un appareil photo. Les photographies ont ensuite été assemblées, à l'aide du logiciel Photoscan v1.0 (Agisoft, Carshalton, UK), pour générer l'ortho-image de la rondelle fraîche (Fig. 2a). Les disques ont ensuite été séchés à l'air libre (pendant 72 heures, température de l'air ambiant autour de 25 °C) et poncés, en utilisant de papiers abrasifs de différents grains (40, 80, 100, 120, 240, 400 et 1000).

### 2.4 ACQUISITION DE DONNÉES NUMÉRIQUES

Les sections transversales de disques poncés ont été balayées par un scanner A4 plat (A4-Epson Perfection V500). La numérisation a été réalisée à de résolutions de 1200 à 1600 dpi ; environ 20 scans ont été nécessaires pour couvrir un disque de 90 cm de diamètre. Les scans ont ensuite été géoréférencés dans un système de coordonnées métriques sur ArcMap (ArcGIS 10, ESRI, Redlands, CA, USA). La correspondance entre l'ortho-image de la rondelle fraîche et les scans a permis de produire l'image intégrale de la surface à haute résolution (Fig.2b) avec les dimensions de l'échantillon frais, sans rétrécissements dus au séchage. Sur l'image à haute résolution, la moelle et les limites de cernes sont matérialisées par des points (ou marqueurs) à l'aide des outils de digitalisation (Edition) disponible sur ArcMap. Pour cette première expérimentation, la digitalisation a été réalisée suivant un seul rayon par arbre échantillonné.



**Figure 2- Phases de préparation de bois et acquisition de données : (a) Ortho-image de la rondelle fraîche construite à partir des photos et les points de calage (trous) ; (b) Image haute résolution de la surface poncée générée par référencement des scans (échelle : 200 mm) et (c) Marquage de cernes « points jaunes » (échelle : 10 mm).**

<sup>1</sup> <http://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/africa>.

Une fois tous les cernes marqués, la fonction "Point Distance", toujours dans ArcMap, a permis de calculer les distances de chaque point marqué (cerne) par rapport à la moelle en terme de rayons à partir desquels on peut déduire les largeurs de chaque cernes (Fig.2c). Toutes les mesures sont effectuées automatiquement à une précision de plus de 10-5 mm près.

## 2.5 ESTIMATION DES ACCROISSEMENTS ET ANALYSES STATISTIQUES

Les séries de largeurs de cernes constituent le produit final des opérations de préparation et traitements des échantillons. Normalement, les largeurs de cernes cumulées doivent correspondre plus ou moins à la moitié du diamètre intérieure sous l'écorce de chaque arbre. Pour ce faire, une méthode de correction est appliquée aux séries de largeur de cernes pour éviter toute sous- ou surestimation du diamètre réel de l'arbre échantillonné. Un facteur de correction a été calculé, pour chaque disque, en utilisant l'équation suivante [11]:

$$\text{Facteur de correction (FC)} = D_{IC} / D_{IR} \quad (\text{Equation 1}),$$

Où  $D_{IC}$  correspond au diamètre maximal sous l'écorce estimé à partir de la longueur du rayon considéré (ou cumulation de largeurs de cernes) et  $D_{IR}$  est le diamètre intérieur réel sous l'écorce mesuré au ruban sur la section transversale poncée du disque. Pour l'ensemble des échantillons de disques, les valeurs de facteur de correction varient entre 0,723 et 1,332, avec une moyenne de 1,019 (annexe 1). Toutes les valeurs de largeurs de cernes obtenues ont été ainsi divisées par ce facteur de correction pour avoir de bonnes estimations d'accroissement diamétrique.

Les analyses statistiques réalisées ont essentiellement consisté aux tests portant la comparaison de séries de données [26], [27] à l'aide de R [28]. Pour chaque espèce, un test t de Student a été fait pour la comparaison d'accroissements annuels moyens (AAM) obtenus à la valeur de référence préconisée par l'administration forestière nationale (Tableau 1). De plus, leurs valeurs d'accroissements par classe de diamètre (intervalle de 10 cm) ont été comparées par le test de Kruskal-Wallis.

## 3 RESULTATS

### 3.1 CARACTÈRES GÉNÉRAUX DE CERNES D'IROKO (*M. EXCELSA*) ET D'AFRORMOSIA (*P. ELATA*)

Les images haute résolution (1200 -1600 dpi) issues du scannage de la surface poncée de nos disques laissent apparaître clairement quelques caractères généraux de cernes pour les deux espèces en étude. Pour les deux espèces, deux éléments ont été souvent observés dans les limites de cernes : le parenchyme marginal majoritairement et/ou les fibres aplaties. Le parenchyme se présente en fines bandes souvent discontinues, se distinguant d'autres types de parenchymes (confluents et aliformes) par sa forme. Sur les scans utilisés, les fibres aplaties formant la limite de cernes sont généralement difficiles à distinguer contrairement aux bandes de parenchyme marginal.

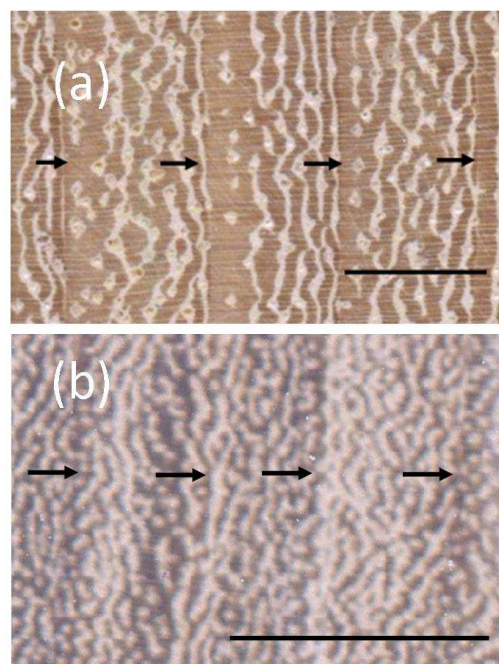


Fig. 3- Images de la section transversale du bois illustrant les limites de cernes : (a) Iroko- *M. excelsa* et (b) Afrormosia- *P. elata*.

Dans la plupart de cas, les caractères de fibres aplaties se traduisent visuellement par une coloration plus sombre dans les tissus fibreux du bois final. Il convient de préciser que le parenchyme marginal apparait majoritairement dans les limites de cernes pour *M. excelsa* (Fig.3a), tandis que la présence de fibres aplaties est plus fréquemment observée dans les bois de *P. elata* (Fig.3b). Quelques anomalies sont présentes dans les bois de deux espèces, notamment les faux cernes et les cernes nuls ou partiels (connu sous le terme anglais de « wedging ring »), mais leur occurrence n'a pas été déterminée dans le cadre de la présente étude.

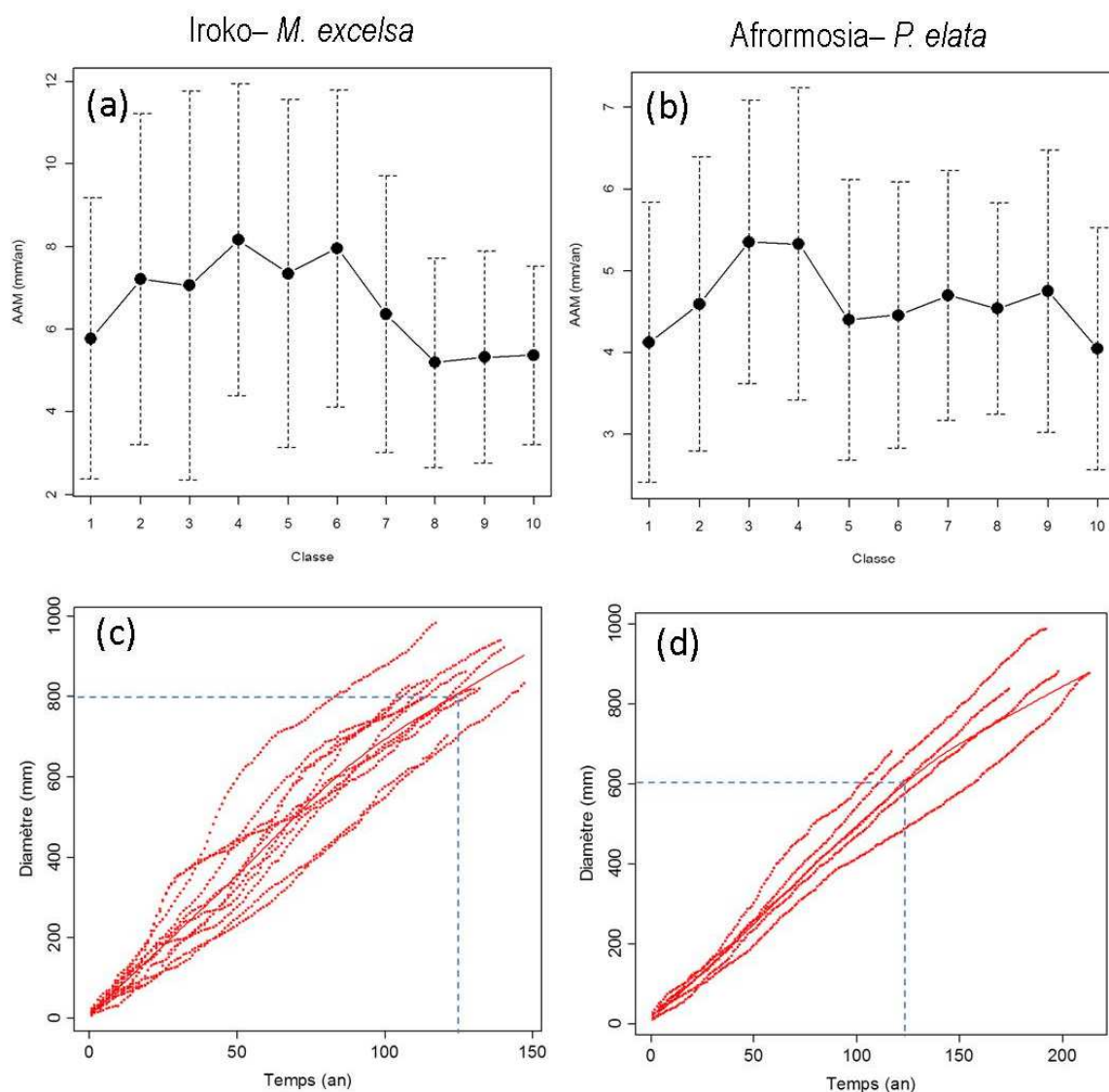
### 3.2 ESTIMATION DE LA CROISSANCE DIAMÉTRIQUE

L'accroissement diamétrique moyen, tous les diamètres confondus, est de 6,65mm/an pour l'iroko (*M. excelsa*) et 4,66 mm/an pour l'Afrormosia (*P. elata*). Les valeurs préconisées par l'administration forestières sont reprises dans la première colonne du tableau 2 pour comparaison.

**Tableau 2. Comparaison des valeurs d'accroissement de référence (AAM réf) utilisées par l'administration forestière aux accroissements moyens observés par essence AMM. Les valeurs indiquées en italique correspondent aux écartypes ( $\pm E_c$ ).**

Essence	AAM réf (mm/an)	Nombre d'arbres	DHP (cm)	AAM (mm/an) $\pm E_c$
Iroko <i>M. excelsa</i>	5	11	90±10.9	6.65±3.76
Afrormosia <i>P. elata</i>	4	5	86.6±9.8	4.66±1.71

Les accroissements annuels moyens observés sont supérieures aux valeurs de référence de l'administration (30% de plus pour l'Iroko et 15% pour l'Afrormosia), et ces différences ont été statistiquement prouvées par le test *t* de Student ( $p < 0,005$ ). Les résultats montrent également que l'accroissement diamétrique varie en fonction du diamètre des arbres au sein d'une même espèce. Les figures 4 (a et b) représentent les moyennes d'accroissements par classe de diamètre (avec l'écartype) et donnent de plus une idée de l'accroissement courant dans le temps. On constate que les deux espèces présentent un accroissement moyen courant soutenu au stade juvénile mais qui diminue ensuite avec le temps. L'iroko présente un accroissement moyen légèrement croissant dans les classes de 0-60 cm de diamètre ; et à partir de 70 cm, le rythme de croissance devient décroissant. Le test de Kruskal-Wallis a montré un effet significatif de la variable « classe de diamètre » au seuil de 1% ( $\chi^2 = 104,33$  ;  $p$ -value  $< 0,001$ ). L'accroissement moyen entre les diamètres 60-80 cm, c'est-à-dire le stock exploitable lors de la prochaine rotation avec un DME fixé à 80 cm, est de 6,46 mm avec un écart-type de 3,53. Les accroissements dans les classes de diamètre au-dessus du DME sont légèrement inférieurs aux accroissements des autres diamètres. La figure 4c représente l'évolution d'un arbre moyen (courbe de lissage), lequel atteint le DME (80 cm) autour de 125 ans.



**Fig.4. Accroissements diamétriques annuels moyens (AAM/an) par classe de diamètres et évolution de diamètre dans le temps pour les espèces en étude : Iroko et Afrormosia. Les graphes de moyennes (a-b) donnent les moyennes d'AAM pour classe de diamètre (intervalle de 100 mm) et les nuages de points (c-d) correspondent l'évolution de diamètres cumulés avec une courbe de lissage illustrant l'arbre moyen.**

*P. elata* est caractérisé par un accroissement diamétrique moyen moins élevé que *M. excelsa*. L'accroissement courant moyen est légèrement croissant au cours du temps dans les classes de diamètre compris entre 0 et 40 cm, et décroît petit à petit dans les classes supérieures (Figure 4b). Les accroissements moyens annuels sont significativement différents entre les classes de diamètre (Kruskal-Wallis = 47,95 ;  $p < 0,001$ ). L'accroissement moyen entre les diamètres 40-60 cm (stock exploitable lors de la prochaine rotation) est de 4.68 mm/an avec un écart-type de 1.68.

#### 4 DISCUSSIONS

Les expérimentations réalisées dans le cadre de cette étude avaient pour objectif de fournir les valeurs d'accroissements de deux essences commerciales, iroko (*M. excelsa*) et Afrormosia (*P. elata*), en utilisant une méthode basée sur l'utilisation des outils SIG et de comparer les valeurs d'accroissements fournies aux valeurs de référence de l'administration forestière. Nous avons échantillonné un nombre réduit d'individus (soit 16 arbres au total) car l'idée première était tout d'abord de tester la méthode avant de se lancer vers les études de grande envergure. Les valeurs d'accroissement annuel moyen obtenues sont de 6.65 mm/an pour l'iroko et 4.66 mm/an pour l'Afrormosia. Elles sont significativement différentes de valeurs de l'administration forestière, surtout pour l'iroko. La valeur moyenne observée pour l'iroko est supérieure à celle d'Afrormosia

comme c'est le cas dans le document officiel de l'administration forestière. Considérant le fait que les récentes études [2], [6], [26] mettent en doute les valeurs de paramètres dendrométriques fournies par l'administration forestière dans le Bassin du Congo, il est probable que les valeurs utilisées par l'administration forestière en RDC sous-estiment les accroissements diamétriques tel que les résultats de cette étude l'ont démontré.

Dans l'ensemble, les tendances observées en termes de valeurs moyennes par espèce ou par classe de diamètres se rapprochent quelque peu des résultats de certaines études antérieures menées sur les mêmes espèces dans le Bassin du Congo. Les études sur le *P. elata* ont particulièrement circonscrites à deux pays principaux de sa zone de distribution, à savoir la RDC et le Cameroun. Dans la région de Yangambi (RDC), Schmitz (1962, in [29]) a trouvé des AAM de 6,8 mm (11 arbres) pour le *P. elata* sur base d'analyse de cernes tandis que Boyemba [17] a obtenu des AAM de  $4.2 \pm 1.4$  mm à travers le suivi de 442 arbres dans les parcelles permanentes. Dans une étude plus récente portant toujours sur le *P. elata* au Cameroun, Fétéké et al. [2] ont fourni les accroissements diamétriques de  $4.2 \pm 0.005$  mm/an et de  $4.7 \pm 0.04$  mm/an respectivement en milieux forestiers non exploités et exploités (prélèvement de 0.8 tiges/ha). La plupart des études sur l'Iroko, incluant à la fois *M. excelsa* et *M. regia*, ont principalement été menées en Afrique de l'Ouest et de l'Est [20]. Pour l'Afrique Centrale, les quelques recherches, à notre connaissance, ayant porté sur les analyses de cernes sur le *M. excelsa* sont présentés dans le tableau 3. Pour l'Afrique Centrale, les quelques recherches à notre connaissance, ayant porté sur les analyses de cernes sur le *M. excelsa* sont présentés dans le tableau 3 ci-dessous. La plupart d'analyses de cernes menées dans les peuplements naturels ont fourni de valeurs d'AAM autour de 5 mm/an, à l'exception de l'étude de Détienne [30]. Les AAM de 10,8 mm trouvés par Détienne semblent normaux par rapport aux diamètres des arbres en observation ( $\leq 35$  cm) et peuvent aussi s'expliquer par les conditions locales (pluies, compétition, disponibilité de la lumière) qui conditionnent la croissance. En effet, comme l'ont mentionné certains auteurs [30], [31], le bois juvénile (0-30 cm de diamètre) a souvent une croissance très soutenue et réagit différemment aux conditions environnementales comparée au bois mature.

**Tableau 3. Valeurs moyennes de l'accroissement annuel en diamètre observé pour quelques études menées dans le Bassin du Congo.**

Source	Localisation	Type de forêts	Approches utilisées	Echantillon (N)	AAM (mm/an)
[30]	Cameroun et Cote d'Ivoire	Forêts denses naturelles (-)	Blessures cambiales, Mesures périodiques de circonférence	Disque (10)	10,8
[32]	République Centrafricaine	Forêts denses semi-décidues (1665 mm)	Analyse de cernes (œil et loupes) à l'échelle macroscopique	Disque (11)	5,1
[33]	République Centrafricaine	Forêts denses semi-décidues (1490 mm)	Comptage et mesures de cernes (œil et loupes) à l'échelle macroscopique	Disque (11)	5,1
[34]	République Centrafricaine	Forêts denses semi-décidues (1490 mm)	Comptage et mesures de cernes (œil et loupes) à l'échelle macroscopique	Disque (45)	5,5
[35]	Cameroun	Forêts denses décidues (1644 mm)	Comptage et mesures à partir de TSAP*, Chronologie (Crossdating).	Disque (18) + carotte (16)	5,5

En République Centrafricaine, la plupart de recherches [32], [33], [34] ont fourni des AAM variant de 5 à 5,5 mm en forêts denses semi-décidues. Le même résultat (5,5 mm/an) a été obtenu par Nzogang [35] au Cameroun en forêts denses décidues. On constate par ailleurs que les accroissements annuels sont légèrement décroissants avec le temps pour Durrieu de Mandron [34], alors qu'une tendance inverse est relevée par Nzogang [35] dans les classes de diamètre compris entre 40-100 cm.

L'examen des données des études susmentionnées confirme le fait que l'accroissement diamétrique varie en fonction de l'espèce et de la gamme de diamètres ainsi que la zone géographique d'échantillonnage des arbres devant servir au calcul. De plus, le choix de méthodes d'investigations des rythmes de croissance peut aussi expliquer les différences en termes de résultats. Contrairement à d'autres méthodes d'analyses de cernes, l'approche utilisée tient compte de possibles rétrécissements en phase de séchage [13]. L'effet de rétrécissements sur les mesures de cernes semble varier en fonction des espèces, c'est-à-dire les caractéristiques physico-chimiques de leur bois. Cela peut aussi expliquer que les disparités entre les valeurs d'AAM obtenues par cette étude et celles des études antérieures se situent à de seuils différents selon les espèces. Les comparaisons approfondies entre certaines données restent difficiles à l'absence de renseignements relatifs aux caractéristiques de l'échantillon et les méthodes de mesure utilisées.



## 5 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

L'approche utilisée s'appuie sur les potentialités fournies actuellement par les images numériques et le système d'informations géographiques (SIG). Cette étude a permis particulièrement de cerner nombreux avantages associés à cette méthode : la prise en charge des arbres de gros diamètres, la facilité de partage de données, la précision dans les mesures, etc. Cependant les valeurs d'accroissements obtenues dans le cadre de cette étude ne sont pas directement à recommander dans le cadre de plan d'aménagement ; les expérimentations méritent d'être réitérées dans d'autres milieux avec un nombre plus important d'arbres et sur d'autres essences commerciales pour confirmer les tendances ou les différences observées.

Quelques améliorations peuvent être apportées à l'approche utilisée pour figurer les résultats. L'expérience réalisée a montré que la qualité des résultats dépend de performances obtenues à chaque stade de traitements. La construction des ortho-images et le référencement des scans sont particulièrement les phases les plus délicates qui mériteraient beaucoup plus d'attention à notre avis. En phase de digitalisation, les cernes de croissance sur la section transversale du bois doivent être également bien identifiés et leurs limites marquées de manière précise. La méthode utilisée ne permettant pas de réaliser une détection automatique de cernes, l'identification et le marquage des cernes exigent des connaissances préalables sur la structure anatomique des espèces tropicales. Pour le cas de l'iroko et l'afromosia, les bandes de parenchyme marginal formant les limites de cernes ont été en général facilement détectables sur les scans aux résolutions de 1200 à 1600 dpi (Dimension A4) mais l'identification de tissus fibreux paraît plus difficile. Pour les études à venir, il serait pertinent de réaliser le scannage à des résolutions plus élevées (soit 2000 à 2500 dpi) pour améliorer davantage la visibilité des éléments de la structure anatomique de bois. La digitalisation de cernes a consisté un simple marquage de limites de cernes par des points (marqueurs) dans le cadre de notre étude. Il est recommandé d'explorer les possibilités de digitalisation en barre ou en disque tel que suggéré par les études antérieures et comparer éventuellement les résultats.

## REMERCIEMENTS

Cette étude a bénéficié de l'appui financier du projet FCCC (Forêts et changement Climatique au Congo). Nos remerciements s'adressent à toutes les institutions partenaires à ce projet (CIFOR, Université de Kisangani, Musée Royal de l'Afrique Centrale, Faculté de Gembloux Agro-Biotech). Nous remercions en particulier le professeur Philippe Lejeune de Gembloux (Belgique) et le docteur Hans Beeckman pour ces conseils et orientations en phase de préparation et de traitements de données et la CFT (Compagnie Forestière et de Transformation) pour l'appui logistique dans la récolte des données.

## REFERENCES

- [1] A. Mariaux, "Les cernes dans les bois tropicaux africains: Nature et périodicité", Bois et Forêts des Tropiques, no. 113:3-14, 1967.
- [2] F. Feteke, N. Bourland, Y.L. Kouadio, S.L. Moneye, C. Bekono, J.L. Doucet, P. Lejeune, M. Yem Liboum M., " Modéliser la croissance de quatre essences pour améliorer la gestion forestière au Cameroun ", Bois et Forêts des Tropiques, vol.4, no. 325: pp. 5–20, 2015.
- [3] L. Durrieu de Madron et E. Fourni , "Aménagement forestier dans l'Est du Cameroun", Bois et Forêts des Tropiques, vol.4, no. 254, pp.39–49, 1997.
- [4] C. Fargeot, E.Forni,R. Nasi, " Réflexions sur l'aménagement des forêts de production dans le bassin du Congo ", Bois et Forêts des Tropiques, vol.3, no. 281, pp.19–34, 2004.
- [5] M. Worbes, "How to measure growth dynamics in Tropical trees", IAWA Journal, vol.16, no.4, pp.337-351, 1995.
- [6] 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>.
- [7] M. Worbes, *Forest growth in the Tropics*. Short script. Freiburg, Allemagne, 23 p, 2001.
- [8] M. Worbes, R. Staschel, A. Roloff and W.J. Junk, "Tree ring analysis reveals age structure , dynamics and wood production of a natural forest stand in Cameroon". *Forest Ecology and Management*, no.173, pp. 105–123, 2003.
- [9] R.J.W. Brien and P. A Zuidema., "Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis", *Journal of Ecology*, no. 94, pp. 481–493, 2006.
- [10] R.J.W. Brien and P. A Zuidema, "The use of tree rings in tropical forest management: Projecting timber yields of four Bolivian tree species", *Forest Ecology and Management*, no. 226, pp. 256–267, 2006.
- [11] C. Mbow, S. Chhin, B. Sambou and D. Skole, "Potential of dendrochronology to assess annual rates of biomass productivity in savanna trees of West Africa", *Dendrochronologia*,no. 31, pp. 41–51, 2013.
- [12] Burnel L. et Péliissier C., *Méthode de préparation d'échantillons de bois feuillus pour utilisation en dendrochronologie*. Cahier technique INRA, 66: 5–12, 2009.

- [13] N. Latte, H. Beeckman, S. Bauwens, S. Bonnet, P. Lejeune, "A novel procedure to measure shrinkage-free tree-rings from very large wood samples combining photogrammetry, high-resolution image processing and Gis tools", *Dendrochronologia*, no.34, pp.24-28, 2015.
- [14] L. Ndjele, *Les éléments phytogéographiques endémiques dans la flore vasculaire du Zaïre*. Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, Labo. Bot. Syst. & Phyt., Bruxelles, Belgique, 528 p., 1988.
- [15] M. De Ridder, B. Toirambe, J. Van den Bulcke, N. Bourland, J. Van Acker, H. Beeckman, "Dendrochronological Potential in a Semi-Deciduous Rainforest: The Case of *Pericopsis elata* in Central Africa". *Forests* 5, 3087–3106, 2014.
- [16] W. Köppen, *Das geographische system der klimate*. Handbuch der klimatologie, Borntraeger science publishers, Berlin, 44 p, 1936. [Online] Disponible : [http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/pdf/Koppen\\_1936.pdf](http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/pdf/Koppen_1936.pdf)
- [17] F. Boyemba, *Ecologie de Pericopsis elata (Harms) Van Meeuwen (Fabaceae), arbre de forêt tropicale africaine à répartition agrégée*, Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgique, 181 p, 2011.
- [18] J.M. Kahindo, *Potentiel en produits forestiers autres que le bois d'œuvre dans les formations forestières de la région de Kisangani. Cas des rotins Eremospatha haullevilleana De Wild et Lacosperma secundiflorum (P. Beauv.) Kuntze de la Réserve forestière de Yoko (Province Orientale, RDC)*. Thèse de doctorat, Université de Kisangani, Département d'Ecologie et gestion des ressources végétales, Kisangani, RDC, 269 p, 2011.
- [19] C. Ouinsavi and N. Sokpon, "Morphological Variation and Ecological Structure of Iroko (*Milicia excelsa* Welw. C.C. Berg) Populations across different diogeographical zones in Benin", *International Journal of Forestry Research*, vol. 2010, pp. 1–10, 2010.
- [20] K. Daïnou, J.L. Doucet, Sinsin B., G. Mahy, "Identité et écologie des espèces forestières commerciales d'Afrique centrale : le cas de *Milicia* spp. (synthèse bibliographique)", *Base*, vol.3, no. 16, pp. 229–241, 2012.
- [21] A. Fayolle, D.-Y. Ouédraogo, G. Ligot, K. Daïnou, N. Bourland, P. Tekam P., J.-L. Doucet, "Differential performance between two timber species in forest logging gaps and in plantations in Central Africa", *Forests*, vol. 2015, no. 6, 380-394, 2015.
- [22] C. De Wasseige, J. Flynn, D. Louppe, F. Hiol Hiol, P. Mayaux, *Les forêts du Bassin du Congo. État des Forêts 2013*. Weyrich, Belgique, 328 p, 2013.
- [23] WRI, *Atlas forestier interactif de la République Démocratique du Congo*. World Ressources Institute: Document de synthèse. Washington, 56 p, 2009. [Online] Disponible: <http://www.wri.org/forests>
- [24] M. Abensperg-Traun, *CITES, sustainable use of wild species and incentive-driven conservation in developing countries, with an emphasis on Southern Africa*. *Biol. Conserv.*, 142:948-963, 2009.
- [25] DIAF/MECNT, *Liste des essences forestières de la République Démocratique du Congo*. Guide opérationnel. Kinshasa, RDC, DIAF, 52p, 2009.
- [26] P. Dagnelie, *Analyses statistiques à plusieurs valeurs variables*, Gembloux, Presses agronomiques de Gembloux, 362 p, 1975.
- [27] Faraway J.J.. 2002. *Practical regression and Anova using R*. [Online] Disponible: <http://www.stat.lsa.umich.edu/~faraway/book>.
- [28] R Development Core Team, *R: A language and environment for statistical computing*. Vienne, Autriche, R Foundation for Statistical Computing, 2003.
- [29] N. Bourlands, YL. Kouadio, F. Fétéké, P. Lejeune, J.-L. Doucet, "Ecology and management of *Pericopsis elata* (Harms) Meeuwen (Fabaceae) populations : a review". *Base*, vol.4, no. 16, pp. 486–498, 2012.
- [30] P. Detienne, *Nature et périodicité des cernes dans le bois d'iroko*. Nogent-sur-Marne, France, Centre Technique Forestier Tropical, 27 p, 1976.
- [31] M. Worbes, "One hundred years of tree-ring research in the tropics- a brief history and outlook to future challenges", *Dendrochronologia*, no. 20, pp. 217-231, 2002.
- [32] P. Détienne, F. Oyono, L. Durrieu de Mandron, B. Demarquez, R. Nasi, *L'analyse de cernes : applications aux études de croissance de quelques essences en peuplements naturels de forêt dense africaine*, Montpellier, France, Cirad, série Forafi, n°15. CD-Rom, 1998.
- [33] L. Durrieu de Madron, R. Nasi, P. Détienne, "Accroissements diamétriques de quelques essences en forêt dense africaine", *Bois et Forêts des Tropiques*, vol.1., no. 263, pp. 63–74, 2000.
- [34] L. Durrieu de Madron, "Accroissement diamétrique du bété et de l'iroko", *Bois et Forêts des Tropiques*, 275: 83–87.
- [35] A. Nzogang, *Tropical forest dynamics after logging-natural regeneration and growth of commercial tree species in southeast Cameroon*, Thèse de doctorat, Forest and Environmental sciences, Albert-Ludwigs University, Freiburg im Breisgau, Germany, pp. 107-200, 2009.

## ANNEXES

**ANNEXE 1. INFORMATIONS DENDROMÉTRIQUES DES ARBRES ÉCHANTILLONNÉS POUR CETTE ÉTUDE. LE DIAMÈTRE À HAUTEUR DE POITRINE (DHP, EN CM), LE DIAMÈTRE INTÉRIEUR SOUS L'ÉCORCE ISSU DE LA CUMULATION DES LARGEURS DE CERNES (D<sub>IC</sub>, EN MM), LE FACTEUR DE CORRECTION (FC, NOMBRE), LE DIAMÈTRE INTÉRIEUR RÉEL SOUS L'ÉCORCE MESURÉ AU RUBAN (D<sub>IR</sub>, EN MM) SONT DONNÉES POUR CHAQUE ARBRE**

Espèce	Code_ID	Echantillon	DHP	D <sub>IC</sub>	D <sub>IR</sub>	FC
Iroko <i>M. excelsa</i>	CI001	iroko1	103,9	1008	982	1,026
	CI003	iroko2	86,5	917,09	832	1,102
	CI005	iroko3	97,5	1181	939	1,258
	CI006	iroko4	103,5	944,4	817	1,156
	CI007	iroko5	85,4	663,5	794	0,836
	CI009	iroko6	88	780,5	860	0,908
	CI010	iroko7	98	1227	921	1,332
	CI013	iroko8	74,5	690,61	702	0,984
	CI014	iroko9	82,4	1047	838	1,249
	CI016	iroko10	81,2	792,5	825	0,961
	CI017	iroko11	79,4	592,2	819	0,723
Afromosia <i>P. elata</i>	CI004	afro1	86,2	818,34	875	0,935
	CI008	afro2	89,8	942	881	1,069
	CI011	afro3	95,5	878,74	987	0,890
	CI015	afro4	91,5	879	836	1,051
	CI018	afro5	70	559,72	680	0,823

**ANNEXE 2- ACCROISSEMENTS ANNUELS MOYENS (AAM, EN MM/AN) PAR ESPÈCE ET PAR CLASSE DE DIAMÈTRE (INTERVALLE DE 10 CMM). Nf CORRESPOND À LA FRÉQUENCE DES VALEURS UTILISÉS DANS LE CALCUL DES MOYENNES**

Classe	Iroko- <i>M. excelsa</i>		Afromosia- <i>P. elata</i>	
	Nf	AAM±Ec	Nf	AAM±Ec
1	155	5,77±3,4	93	4,12±1,71
2	150	7,20±4,00	108	4,59±1,79
3	155	7,05±4,70	90	5,35±1,73
4	135	8,15±3,76	95	5,32±1,91
5	147	7,33±4,20	115	4,39±1,71
6	142	7,95±3,83	111	4,45±1,62
7	174	6,35±3,35	103	4,69±1,52
8	192	5,18±2,53	88	4,53±1,28
9	98	5,32±2,56	63	4,74±1,73
10	29	5,36±2,15	22	4,02±1,48