



BP 2012
KISANGANI



**ELABORATION D'UN TARIF DE CUBAGE DE
Petersianthusmacrocarpus (P. BEAUV.) LIBENDans les
deux parcelles permanentes de la Réserve Forestière de
Yoko (Ubundu, Province de laTshopo, RD Congo)**

Par

Charly MUKEINA KANGELA

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention de gradé d'Ingénieur
Agronome.

Option : Eaux et Forêts

Directeur: Dr. Roger KATUSI LOMALISA

Encadreur : CT. ThierryKAHINDO MALIRO

grat ex

Année Académique 2015-2016

DEDICACE

A vous chers parents : Sébastien KANGELA et Chantal KONDO ; Pour votre détermination en notre éducation jusqu'à faire de nous personne instruite.

REMERCIEMENTS

A l'heure où nous mettons la dernière main sur ce travail, nous tenons à remercier ceux qui de près ou de loin ont contribué à sa réalisation. Nos remerciements s'adressent premièrement à l'Eternel, notre Dieu tout puissant, le créateur des cieux et de la terre pour sa grâce et sa bienveillance.

A notre Directeur, le Dr KATUSI LOMALISA Roger dont la confiance nous honore à maintes et reprises il a toujours été permanent envers nous sur le plan scientifique que moral. Qu'il trouve ici l'expression de notre profonde gratitude.

A notre encadreur le chef de travaux IrKAHINDO MALIRO Thierry qui, en dépit de ses multiples occupations, avait disposé de son temps et accepté d'encadrer nos pas pour sa réalisation.

Nos remerciements s'adressent à tous les enseignants qui nous ont enrichis avec de connaissances. Leurs enseignements ont promu et élargi notre savoir scientifique.

Nos sincères reconnaissances s'adressent à notre père Sébastien KANGELA MUYENGA et notre mère Chantal KONDO NYEMBO pour leurs affections, soutien et encouragement. et pour tant des sacrifices consentis tout au long de notre cursus académique.

A nos frères et sœurs, mamy KANGELA, Elie KANGELA, jacques KANGELA, Elena KANGELA, Justin KANGELA, Elvis KANGELA, qu'ils trouvent dans ce travail notre attachement affectueux.

Nous ne pouvons pas oublier notre frère Bibliothécaire Lucien SHAKO SHUTSHE qui nous a soutenu financièrement, moralement et spirituellement pour la réalisation de ce travail.

Nous adressons toute notre gratitude aux camarades étudiants et étudiantes. Vous avez été nombreux à partager nos moments de joie, de passion, de fatigue et d'énervement. Nous pensons garder de bon souvenir aux amis Trésor AKYABANGELO Charlie PONZE, Adonis LENGALÉNGA, Errol ASANI, Jeanne ASSINA, AMISI KAPONGO, Bob MONGEZU, Alice EKOKO, Nathalie NAKO, HildaATAKIWE, Passy KASANGE, Eliace MUMBERE, Richard SAMBILI, Bora SHAULA, Charlotte KAVIRA, Safi MUGHENI, Judith KAHINDO, Germaine BOLINGAMA. Que tous, amis et connaissances, qui ne sont pas cités ici, trouvent l'expression de notre gratitude.

RESUME

Une étude a été conduite à la réserve forestière de la Yoko située à 32 km de Kisangani sur l'espèce *Petersianthus macrocarpus* (ESSIA) en vue de l'élaboration du tarif de cubage et de biomasse.

L'échantillon était constitué de 35 arbres non abattus de plus de 10 cm de dhp et appartenant à l'espèce *Petersianthus macrocarpus*.

Le volume a été calculé selon la méthode de cubage par billon successif à l'aide de la formule de SL et la biomasse s'en était suivie par la multiplication de ce dernier par la densité du bois et le BEF (facteur de conversion de la biomasse).

L'équation suivante a été obtenue :

- $\text{Volume fût} = 0.000081378 D^{2.6732643}$

La biomasse fût et la biomasse totale des arbres s'expriment par les équations suivantes :

- $B. \text{ fût} = 0.0510962 \times D^{2.6601857}$
- $B. \text{ Totale} = 0.1737271 \times D^{2.6601857}$

Les tarifs ont été comparés avec ceux des autres provinces de la RD. Congo établis par DIAF (Direction d'Inventaire d'Aménagement Forestier) en analysant leurs paramètres et leurs résidus sur le volume prédit par les équations correspondantes.

Mots clés : *Petersianthus macrocarpus*, équations de volume et de biomasse, Réserve forestière de Yoko.

SUMMARY

A survey has been driven to the forest reserve of the Yoko situated to 34 km of Kisangani on the species *Petersianthusmacrocarpus* (ESSIA) in view of the development of the tariff of cubage and biomass.

The sample was constituted of 35 trees not dejected of more than 10 cm of dhp and belonging to the species *Petersianthusmacrocarpus*. The volume has been calculated according to the method of cubage by successive billon with the help of the formula of Huber and the biomass had followed itself of it by the multiplication of this last by the density of wood and the BEF (factor of conversion of the biomass).

The following equation has been gotten:

- Volume_{was} = $0.000081378D^{2.6732643}$

The biomass was and the total biomass of the trees expresses themselves by the following equations:

- B. was = $0.0510962 \times D^{2.6601857}$
- B. Total = $0.1737271 \times D^{2.6601857}$

The tariffs have been compared with those of the other provinces of the RD. Congo workbenches by DIAF (Direction of Forest planning inventory) as analyzing their parameters and their residues on the volume predicts by the corresponding equations.

Key words: *Petersiathusmacrocarpus*, equations of volume and biomass, forest Reserve of Yoko.

0. INTRODUCTION

0.1. Problématique

La gestion des forêts nécessite la collecte des données sur les peuplements à gérer. Quelles que soient les modalités, cette collecte d'informations repose toujours sur la mesure des caractéristiques des arbres (Picard *et al.*, 2012). Il s'agit là des informations et des outils indispensables qui permettent au gestionnaire forestier de connaître le capital ligneux sur pied. Ces outils sont les tarifs de cubage donnant le volume total du peuplement ou les volumes individuels d'arbres formant ce peuplement (Louppe *et al.* 1992).

Certes, si les tarifs de cubage trouvent un écho important dans l'opinion (exploitants forestiers, aménagistes et chercheurs), c'est à cause du fait que l'on peut, non seulement, les relier aux transactions commerciales du bois (Rondeux, 1999 ; Gaudin, 1996) mais également ils constituent l'un des outils indispensables pouvant permettre au gestionnaire forestier de connaître le capital ligneux sur pied aménageable ou exploitable. C'est cela qui justifie la conduite de cette étude.

Les tarifs de cubage permettent de convertir les données dendrométriques collectées lors des inventaires forestiers (principalement le diamètre et l'essence, parfois la hauteur) en estimation des volumes de la grume commerciale.

Pour des usages industriels ou pour la gestion courante des forêts, on ne mesure généralement pas le volume total d'un arbre. Le plus souvent, on cherche à cuber une partie de l'arbre comprise entre deux limites appelées découpes, en fonction de l'usage qui doit être fait du bois (bois d'œuvre, bois de feu...). Cette mesure commence à devenir importante pour l'estimation de la séquestration du carbone (établissement d'équations allométriques) ou pour la production de bois-énergie si on s'intéresse à l'ensemble des parties ligneuses de l'arbre.

Et dans l'optique de l'atténuation du changement climatique et de la possible valorisation du carbone stocké dans les forêts, les tarifs de biomasse ont également pris une place prépondérante. Comme les tarifs de cubage, ce sont des modèles mathématiques des tableaux ou des courbes qui permettent de prédire le volume à partir de variables dendrométriques, les tarifs de biomasse en prédisent également la biomasse aérienne; qui est autre grandeur d'intérêt (Picard, 2015).

Dans notre pays, la RD Congo est à ses premières phases de l'inventaire national, le service permanent d'inventaire et d'aménagement forestiers (SPIAF) avait établis plusieurs tarifs de cubage par espèce ou groupe d'espèces et par zone géographiquement très limitée (Mabiala, 1989). Cependant, il n'y en a pas autant en ce qui concerne la biomasse aérienne.

L'élaboration des tarifs de cubage et de biomasse revêt un caractère impératif. Eu égard aux emplois locaux dont l'espèce *Petersianthus macrocarpus* (Essia) est à la base (bois d'œuvre, bois énergie, PFNL) cette étude, menée dans la réserve forestière de Yoko, cherche à élaborer le tarif de cubage et de biomasse, c'est-à-dire mettre à la disposition des utilisateurs un outil de base pouvant leur permettre d'estimer approximativement la ressource sur pied.

0.2. Hypothèses

Pour bien mener cette étude, nous avons formulons les hypothèses suivantes:

- ✦ Le tarif de cubage et de biomasse de *Petersianthus macrocarpus* (Essia) dans la réserve forestière de Yoko suit également le model puissance comme ceux établis dans d'autres provinces par la DIAF (Direction Inventaire et Aménagement Forestiers).
- ✦ Il existe une forte corrélation entre les variables prédicteurs (le diamètre, la hauteur, la densité du bois) et la variable prédite (volume ou la biomasse aérienne du fût de l'arbre)

0.3. Objectifs

0.3.1. Objectif général

Cette étude a généralement pour objet l'élaboration de tarif de cubage spécifique et de biomasse de *P. macrocarpus* en fonction du dhp dans la réserve forestière de Yoko.

0.3.2. Objectifs spécifiques

Pour bien élaborer ce tarif nous nous sommes fixés les objectifs spécifiques ci-après :

- ✦ décrire les caractéristiques et les paramètres des tarifs qui seront obtenus en vue d'une bonne comparaison,
- ✦ tester la relation entre le dhp et le volume ou la biomasse fût de l'espèce et comparer le tarif de cubage obtenu au cours de l'étude avec ceux établis par la DIAF dans les cas des autres provinces.

0.4. Intérêt

Sur le plan scientifique cette étude contribuera à l'élaboration d'un outil technique en vue des estimations de la ressource ligneuse sur pied de l'espèce *P. macrocarpus*.

Sur le plan pratique, cette étude trouvera son application et son intérêt auprès des utilisateurs qui sont les exploitants forestiers, les gestionnaires, les sylviculteurs qui auront à leurs disposition un outil pratique et approprié pour prédire les volumes individuels des arbres en fonction de dhp.

0.5. Subdivision du travail

Outre l'introduction et la conclusion, ce travail s'articule autour de quatre chapitres. Le premier chapitre parle des généralités sur le milieu d'étude et sur l'espèce. Le deuxième chapitre est consacré à l'approche méthodologique. Le troisième chapitre se rapporte aux résultats du travail et enfin, le quatrième chapitre concerne la discussion des résultats.

0.6. Travaux antérieurs

Bien que l'exploitation forestière classique (bois d'œuvre) date de longtemps, cependant peu d'études se sont intéressées à savoir et à déterminer de façon spécifique le tarif de cubage de toutes les essences forestières respectives

La littérature en matière de tarif de cubage est relativement abondante. Quant à la biomasse, c'est encore un réel défi. Toutefois, la mesure de la biomasse commence à devenir importante pour l'estimation de la séquestration du carbone (établissement d'équations allométriques) ou pour la production de bois-énergie si on s'intéresse à l'ensemble des parties ligneuses de l'arbre (Picard *et al.* 2012).

En RDC, parmi les publications les plus récentes, il est nécessaire de signaler le grand travail réalisé par SPIAF au niveau national (Mabiala *et al.*, 1981 cités par Mbale, 2014) ont établi le tarif de cubage national afin d'avoir une idée aussi exacte que possible du volume de quelques essences exploitables dans le cadre de grands inventaires nationaux pour quelques régions du pays. Il s'en est suivi de la publication des guides opérationnels en 2007 par le SPIAF et en 2009 avec la DIAF.

Dans la région de Kisangani, plusieurs travaux sur le tarif de cubage ont déjà été menés, à savoir : Biguma (2006) sur l'espèce *Staudtia kamerunensis* dans la réserve de Loweo (Yangambi, RDC). Il a utilisé un échantillon de 40 tiges ayant le diamètre ≥ 10 cm, il est dérivé de équations

de régressions pour maintenir le model puissance comme modèle qui lui a permis d'élaborer son barème de cubage.

Kambale, (2006), a établi un tarif de cubage de *Gilletiodendron kisantuense* dans la réserve forestière de Yoko (Bloc nord) sur un échantillon de 68 tiges à $d_{hp} \geq 10\text{cm}$ et a testé 6 équations de régression jusqu'à maintenir la régression exponentielle comme modèle de cubage.

Otomabonga (2007) a élaboré un tarif de cubage de *Petersianthus macrocapus*, dans la réserve forestière de Masakoo où il a utilisé un échantillon de 53 tiges ayant les $D_{hp} \geq 10\text{cm}$ et a proposé 6 équations de régression pour maintenir la régression puissance.

Malongola (2008), a élaboré un tarif de cubage de *Scorodophoeus zenkeri* dans la réserve forestière de Yoko au bloc sud et a proposé 6 équations de régression pour maintenir la régression puissance.

Kahindo (2009) a produit des tarifs de cubage et de biomasse pour les espèces *Scorodophloeus zenkeri*, *Gilbertiodendron dewevrei* et *Guarea thompsonii* dans la réserve forestière de Yoko. Le modèle puissance a été retenue pour toutes ces espèces. Il faut préciser que tous ces tarifs cités ci-haut ont été élaborés par la méthode indirecte c'est-à-dire sur base des arbres sur pied. De ce qui précède, en ce qui concerne le tarif de cubage et de biomasse, nous pouvons également citer Matondo (2013), Kadetwa (2014), Kahambu (2014) ont établi respectivement les tarifs de cubage des espèces *Brachystegia laurentii*, *Terminalia superba* et *Milletia laurentii*, etc.

De manière générale, les études sur *P. macrocarpus* n'ont pas suffisamment été développées alors que l'espèce est en train d'être exploitée localement pour son bois d'œuvre dans diverses constructions et bois de feu mais également comme espèce parmi les principales qui hébergent les chenilles comestibles.

S'il existe des tarifs de l'espèce de notre étude (*Petersianthus macrocapus*), nombreux sont presque dépourvus d'informations sur la zone géographique, l'effectif de l'échantillon, la gamme de diamètre comme entrée de tarif, la qualité d'ajustement et l'erreur résiduelle des modèles, donc leur validité est à élucider.

CHAPITRE I : LES GENERALITES

1.1. MILIEU D'ETUDE

1.1.1. Situation administrative et géographique

La zone d'étude est située dans la région de Kisangani dans la Province de la Tshopo en république démocratique du Congo (RDC). La réserve forestière de Yoko est située entre 0° 15' et 0° 20' N, 25° 14' et 25° 20' à l'Est à 32 km au Sud-Est de la ville de Kisangani dans le territoire d'Ubundu.

La réserve forestière de Yoko est délimitée au Nord par la ville de Kisangani et les forêts perturbées, au Sud et à l'Est par la rivière Biaro qui forme une demi-boucle en suivant cette direction, à l'Ouest par la voie ferrée et la route le long de laquelle elle se prolonge aux points kilométriques 21 à 38 (Lomba et Ndjele, 1998).

Cette réserve est une propriété privée de l'Institut Congolais pour la Conservation de la Nature conformément à l'ordonnance – loi n° 75-023 de juillet 1975 portant création d'une entreprise publique de l'Etat dans le but de gérer certaines institutions publiques environnementales telle que modifiée et complétée par l'ordonnance – loi n° 78-190 du 5 mai 1988. Elle a comme coordonnées géographiques : latitude Nord : 00° 29' 40,2'', longitude Est : 25° 28' 90,6'' et altitude : 435 m (Lomba, 2007).

Elle régit par l'ordonnance loi n° 52/104 du ministère de l'environnement et tourisme (rapport provincial de l'environnement).

La figure 1 illustre la localisation de la réserve forestière de Yoko par rapport à la ville de Kisangani en RD Congo.

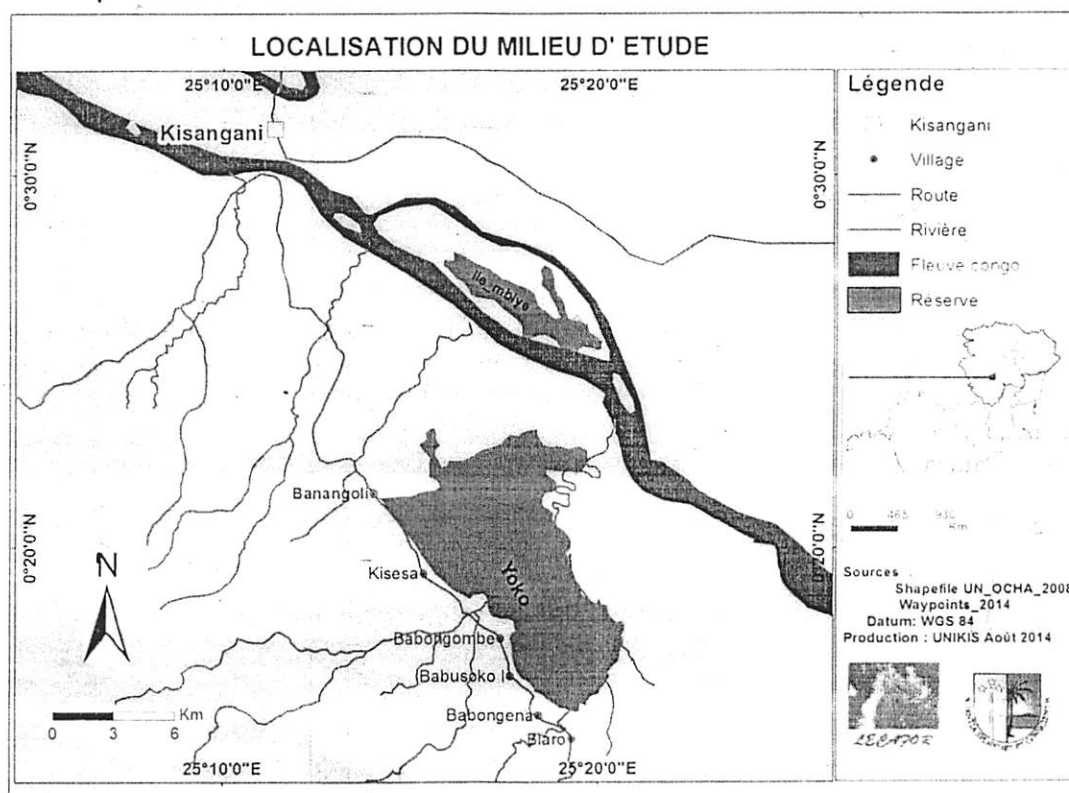


Figure 1 : Localisation de la réserve forestière de Yoko par rapport à la Ville de Kisangani.

1.1.2. Facteurs abiotiques

1.1.2.1. Le climat

Ne disposant pas de données climatiques propres à la réserve et départ sa position à la périphérie de Kisangani, la réserve de Yoko bénéficie globalement du climat régional de la ville de Kisangani du type Af, selon la classification de Köppen (Nyakabwa, 1982 et Ifuta, 1993).

La température du mois le plus froid est supérieure à 18°C et la hauteur mensuelle des pluies du mois le plus sec oscille autour de 60 mm et la température moyenne autour de 25°C. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 1750 mm avec deux maxima équinoxiaux autour des mois d'octobre et d'avril, et deux minima solsticiaux autour de janvier et juillet. La moyenne annuelle du nombre de jour de pluies se situe autour de 155 et la moyenne des précipitations du mois le plus sec oscillant autour de 60 mm. L'humidité relative de l'air est élevée avec une moyenne mensuelle oscille autour de 85% (Lomba, 2007). L'insolation relative de la région oscille entre 42 et 45% dans l'atmosphère surmontant les forêts de l'Est de la République Démocratique du Congo.

1.1.2.2. Les sols

La réserve forestière de Yoko dont fait partie notre site de recherche a un sol présentant les mêmes caractéristiques reconnues aux sols de la Cuvette Centrale congolaise.

La zone d'étude est constituée de terrains de couverture, d'allure horizontale à subhorizontale, le substrat géologique de profondeur est composé d'un mélange de grès et d'argiles rouges, de marnes et de calcaires. Ce substrat fut déposé par des apports fluviaux torrentiels et sables éoliens sous un climat aride à semi-aride du Néogène (Tertiaire supérieur), du Pléistocène et de Holocène (Quaternaire) (Van Wambeke & Evrad, 1954).

Généralement, ce sont des sols sablo-argileux, acide, renferment des combinaisons à base de sable pauvre en humus et en éléments assimilables par plantes, à cause du lessivage dû aux pluies abondantes. Ils ont une fertilité moyenne et conviennent à la culture des plantes ligneuses et associations légumineuses-graminées (Nyakabwa 1982 ; Lomba, 2007).

1.1.2.3. Végétation

Les forêts sont réparties sur l'ensemble du territoire de la R.D.Congo. Elles englobent divers faciès écologiques : forêt dense sempervirente et semi décidue (surtout sur la cuvette centrale) ; forêts édaphiques ; forêts de montagne (surtout à l'Est), forêt claire et savane arborées (surtout dans le Sud) (Nshimba, 2008).

Les études menées par Lebrun & Gilbert (1954) définissent deux types de forêts dans la province orientale et précisément dans la région de Kisangani. Il s'agit des forêts denses sur sols hydromorphes généralement le long du réseau hydrographique et les forêts denses de terre ferme. La forêt de la province orientale démembrée renferme de nombreuses espèces caractéristiques et endémiques, vu sa position de part et d'autre de l'équateur, a l'avantage d'occuper une position stratégique du point de vue de la biodiversité.

1.2. Description de l'espèce

1.2.1. Identification

L'espèce *Petersianthus macrocarpus* appartient à la famille de *Lecythidaceae*, genre *Petersianthus*. En Afrique tropicale, il est représenté par la seule espèce *Petersianthus macrocarpus* du genre *Petersianthus* et dix espèces du genre *Napoleonaea* (Liben, 1971).

Le *Petersianthus macrocarpus* (syn. *Combretodendron macrocarpus*) est un arbre de taille moyenne à grande atteignant 45 m de haut, caducifolié ; fût dépourvu de branches sur 25 m, normalement droit et cylindrique, jusqu'à 130 cm de diamètre, épaissi et légèrement cannelé à la base ou pourvu de petits contreforts ; surface de l'écorce fissurée longitudinalement et devenant écailleuse, brun moyen à brun foncé, écorce interne fibreuse, de couleur crème à jaune-orange ou rose-brun, dégageant une odeur désagréable ; cime arrondie, assez dense ; Feuilles disposées en spirale, groupées près de l'extrémité des rameaux, simples ; stipules absentes ; limbe elliptique ou obovale, cunéiforme à la base, aigu à acuminé à l'apex, à bord entier à légèrement ondulé ou faiblement denté, papyracé, presque glabre, pennatinervé à 6–12 paires de nervures latérales. Inflorescence : grappe ou panicule terminale.

Fleurs bisexuées, régulières, 4-mères ; sépales largement ovales, pétales largement elliptiques, blancs à vert pâle, rapidement caducs ; étamines nombreuses, soudées à la base, précocement caduques ; ovaire infère, 2-loculaire et style droit.

Fruit : nucule fusiforme, pourvue de 4 ailes papyracées, indéhiscente, contenant une seule graine fusiformes.

1.2.2. Répartitions géographique

Cette espèce se rencontre en République Démocratique du Congo, en République du Congo, en Angola, au Gabon, au Cameroun, en République Centre Africaine, au Nigeria, au Ghana et en Côte d'Ivoire.

1.2.3. Usage

Le bois de *Petersianthus macrocarpus* est employé en construction, en menuiserie, pour la confection des mobiliers, des pirogues, des mortiers, des manches d'outils, de placages tranchés et de contreplaqué. Il convient pour la parqueterie, les étais de mines, la charronnerie, les traverses de chemin de fer, les articles de sport, les jouets et les articles de fantaisie, les ustensiles agricoles et les égouttoirs. Il est apprécié comme bois de feu et pour la production de charbon de bois.

En Côte d'Ivoire, l'écorce sert de purgatif et de laxatif et a la réputation d'être abortive. Au Ghana, la décoction d'écorce se prend comme expectorant, et en R.D. du Congo comme cholagogue et pour traiter les douleurs d'estomac, la pneumonie et la jaunisse. En Guinée équatoriale, l'écorce est administrée comme anthelminthique et comme antitussif. La décoction

d'écorce est fréquemment employée pour nettoyer les plaies et favoriser leur cicatrisation. On applique l'écorce chaude sur la peau en cas de douleurs musculaires.

Au Gabon, la décoction de feuille est administrée par voie orale et en lavement pour traiter les hémorroïdes, la constipation, la paralysie et les plaies ulcéreuses. Au Cameroun, les feuilles font office de médicament contre la dysenterie. On ramasse les chenilles comestibles qui se nourrissent des feuilles, et on les consomme après les avoir fait rôtir ou bouillir.

1.3. Généralités sur les tarifs de cubage et de biomasse

1.3.1. Tarif de cubage

1.3.2.1. Définition

Un tarif de cubage est défini comme d'un tableau chiffré, un graphique ou une équation fournissant le volume d'un arbre (ou d'un peuplement) en fonction d'une ou plusieurs caractéristiques directement mesurables sur le terrain (Van Laar & Akca, 2007 ; Rondeux, 1999)

1.3.1.2. Types de tarifs de cubage

Il existe différents types de tarifs de cubage en fonction du nombre d'entrée qu'ils comportent, à savoir, les caractéristiques dendrométriques de l'arbre en fonction desquelles ils fournissent un volume. Les principales entrées sont les grosseurs à hauteur d'homme (tarifs à une entrée) pouvant être associées à des hauteurs totales ou partielles (tarifs à deux entrées).

En forêt tropicale, les tarifs de cubages sont principalement utilisés dans le cas d'inventaires (Lanly, 1965a).

1.3.1.3. Usages du tarif de cubage

Les tarifs de cubage sont couramment utilisés en aménagement forestier et pour la commercialisation des produits forestiers à partir des données d'inventaire. Cependant, ces équations ne permettent pas d'estimer directement le diamètre de l'arbre à une hauteur fixée ou la hauteur à un diamètre donné. Ces estimations sont de plus en plus souvent demandées dans le commerce du bois et pour l'aménagement des forêts (Rondeux, 1999 ; Van Laar & Akca, 2007).

1.3.2. Tarif de biomasse

Selon Kahindo, (2009) ; un tarif de biomasse est une équation (ou tableau, graphique) permettant de prédire la biomasse d'un arbre à partir des caractéristiques dendrométriques facilement mesurables telles que le diamètre à hauteur de la poitrine ou la hauteur.

La biomasse c'est la quantité totale de matière organique aérienne présente dans des arbres exprimée, soit en tonne par hectare (t/ha) dans le cas d'une densité de la biomasse; soit tout simplement en tonne pour l'estimation totale de la biomasse F.A.O. (1991). Selon Gütett, (2007) et Kahindo (2009), la biomasse épigée est définie comme étant la masse de la partie ligneuse (Tronc, écorce, branche, brindilles, feuilles, etc) des arbres vivants ou morts, les arbustes et des buissons à l'exclusion de la souche et des racines.

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

2.1. Matériel utilisé

L'étude a été menée sur l'espèce *Petersianthus macrocarpus* (Essia) dans la réserve forestière de Yoko sur des arbres non abattus (dhp 10 cm). Les matériels qui nous ont été indispensables à la récolte de données étaient : le relascope de Bitterlich à bandes étroites pour la mesure des diamètres (dhp, dfbou hauteur du fût), un décamètre pour mesurer les distances horizontales entre les points de prise de mesure et l'arbre à mesurer, un gabarit de 1,30 m pour matérialiser sur chaque arbre le niveau du dhp. Les arbres qui constituaient notre échantillon avaient été marqués (numérotés) et leur dhp ou leur circonférence à 1,30 m était par la suite calculée sur base des unités relascopiques prélevées.

2.2. Méthodes du travail

2.2.1. Echantillonnage

Après un pré inventaire, le choix et la répartition des arbres par classe de diamètre étaient dictés par les résultats de ce dernier.

En effet, à plus du dhp, pour chaque pied retenu pour sa classe de diamètre, nous subdivisons le fût en billons fictifs de longueur minimale de 2 m et 5 m au maximum. Nous prélevons sur ces derniers moyennant le relascope de Bitterlich, le dhp, le diamètre à la souche (ds) en défaut du dhp, les diamètres intermédiaires (tous les 2 à 5 m le long du fût soit au bout de chaque billon) à partir soit du diamètre à la souche ou du dhp (1,30 m) jusqu'à la naissance de la plus grosse blanche ou l'apparition du plus grand défaut de forme du fût. C'est ainsi qu'à l'issue des mesures directes sur chaque pied, l'on retenait : le dhp (ou le diamètre à la souche ou encore diamètre inférieur selon le cas), les diamètres intermédiaires (di) et la hauteur totale du fût.

2.2.1.1. La taille de l'échantillon

Dans le cadre de cette étude, nous avons retenu 40 arbres dont le dhp était ≥ 10 cm. Ils étaient répartis en 7 classes de diamètre soit 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-50 cm, 50-60 cm, 60-70 cm, et ≥ 70 cm.

En effet, le nombre d'arbres sur lequel porte un tarif varie d'une étude à l'autre. Il faut de 30 à 100 arbres pour établir un tarif de cubage et de biomasse d'un unique peuplement (Pardé et Bouchon, 1988 ; CTFT, 1989).

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

2.1. Matériel utilisé

L'étude a été menée sur l'espèce *Petersianthus macrocarpus* (Essia) dans la réserve forestière de Yoko sur des arbres non abattus (dhp ≥ 10 cm). Les matériels qui nous ont été indispensables à la récolte de données étaient : le relascope de Bitterlich à bandes étroites pour la mesure des diamètres (dhp, dfbou hauteur du fût), un décamètre pour mesurer les distances horizontales entre les points de prise de mesure et l'arbre à mesurer, un gabarit de 1,30 m pour matérialiser sur chaque arbre le niveau du dhp. Les arbres qui constituaient notre échantillon avaient été marqués (numérotés) et leur dhp ou leur circonférence à 1,30 m était par la suite calculée sur base des unités relascopiques prélevées.

2.2. Méthodes du travail

2.2.1. Echantillonnage

Après un pré inventaire, le choix et la répartition des arbres par classe de diamètre étaient dictés par les résultats de ce dernier.

En effet, à plus du dhp, pour chaque pied retenu pour sa classe de diamètre, nous subdivisons le fût en billons fictifs de longueur minimale de 2 m et 5 m au maximum. Nous prélevons sur ces derniers moyennant le relascope de Bitterlich, le dhp, le diamètre à la souche (ds) en défaut du dhp, les diamètres intermédiaires (tous les 2 à 5 m le long du fût soit au bout de chaque billon) à partir soit du diamètre à la souche ou du dhp (1,30 m) jusqu'à la naissance de la plus grosse blanche ou l'apparition du plus grand défaut de forme du fût. C'est ainsi qu'à l'issue des mesures directes sur chaque pied, l'on retenait : le dhp (ou le diamètre à la souche ou encore diamètre inférieur selon le cas), les diamètres intermédiaires (di) et la hauteur totale du fût.

2.2.1.1. La taille de l'échantillon

Dans le cadre de cette étude, nous avons retenu 40 arbres dont le dhp était ≥ 10 cm. Ils étaient répartis en 7 classes de diamètre soit 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-50 cm, 50-60 cm, 60-70 cm, et ≥ 70 cm.

En effet, le nombre d'arbres sur lequel porte un tarif varie d'une étude à l'autre. Il faut de 30 à 100 arbres pour établir un tarif de cubage et de biomasse d'un unique peuplement (Pardé et Bouchon, 1988 ; CTFT, 1989).

En ce qui concerne le tarif de cubage, les paramètres qui nous ont servi au calcul du volume étaient : le dhp, le diamètre à la souche et les diamètres intermédiaires, le diamètre au fin bout et la hauteur fût. Comme pour le volume, la biomasse quant à elle était estimée par la méthode indirecte (méthode non destructive sur les pieds non abattus) en y incluant la densité de bois en plus des paramètres tels que le dhp, le diamètre à la souche et les diamètres intermédiaires, le diamètre au fin bout et la hauteur fût conformément à la formule de base reprise au point 2.6 ci-dessous. Cela parce qu'elle devrait être tirée du volume fût respectif, les classes de diamètres ou de hauteur des fûts doivent restées également les mêmes que pour le tarif de cubage (le volume) soit 8 classes au total (Kahindo, 2009 ; Kadetwa, 2015).

2.2.2. Traitement des données

2.2.2.1. Préparation des données

Il est très important d'organiser et de prétraiter les données récoltées sur le terrain (données brutes) en vue de la phase de construction de tarif proprement dit.

Dans le cadre de notre étude, les données prises au relascope ont préalablement nécessité une transformation des unités relascopiques en unités réelles de diamètre (en cm). Pour cela, nous avons utilisé la formule ci-après : $D = 2 D_h (N_{bl} + N_{be}/4)$ ou $D =$ diamètre, $D_h =$ distance horizontale, $N_{bl} =$ nombre de bandes larges et $N_{be} =$ nombre de bandes étroites vues et comptées au relascope.

2.2.2.2. Construction des tarifs de cubage

Les différentes étapes du traitement de données d'un tarif concernent le calcul des volumes individuels des arbres à partir de résultat de répartition des tiges par classe de DHP, la sélection des équations de régression, ajustement des équations par les tests statistiques et la construction de table de cubage.

A. Calcul de volume

L'estimation du volume d'un arbre sur pied est plus délicate. Elle dépend également des usages finaux de la ressource ligneuse et nécessite la connaissance de diverses caractéristiques dendrométriques, mesurées ou estimées. Elle est donc sujette à plus d'erreurs (Picard *et al.* 2012). Les volumes des arbres ont été calculés selon la méthode de cubage par billons successifs en assimilant le tronc des billons à des cylindres par la formule de Smalian (Rondeux 1998 ; Massenet, 2006).

$$V = \frac{\pi \cdot L}{4} (d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2) = \frac{\pi \cdot L}{4} \sum_{i=1}^n d_i^2$$

Où L désigne la hauteur du billon ; d_1 le diamètre inférieur à la base du fût et enfin d_2, \dots, d_n sont respectivement les diamètres au bout du premier billon à partir de la base, d_3 au 2^e, ..., d_n au fin bout (hauteur totale du fût) soit au bout de $n-1$ ^{ème} billon.

B. Estimation du volume

A partir des volumes fûts (ou volume observé = y) et des dhp (x) nous sommes parvenus à estimer facilement par analyse exploratoire quelques équations de régression, leurs paramètres (a et b) et les coefficients de corrélation (r) en testant respectivement le :

- modèle de régression puissance : $y = aX^b$
- modèle de régression exponentiel : $y = ae^{xb}$
- modèle de régression linéaire : $y = a + bx$
- modèle de régression logarithmique : $y = a + b \ln x$
- modèle de régression quadratique : $Y = a + bx + cx^2$
- modèle de régression inverse : $Y = a + b/x$

C. Equations de régression

Les cinq premières équations de régressions ont été testées sur base de leurs caractéristiques de : coefficient de corrélation " r " ou coefficient de détermination " R " ($R = r^2 \times 100$) ou le carré du coefficient r exprimé en pourcentage.

En principe selon Mabiala (1981) et Kahindo (2006) un coefficient de corrélation d'une valeur $\geq 0,80$ dénote une bonne régression sinon celle qui aurait un coefficient r inférieur doit être rejetée tout comme celle dont, faisant ressortir des valeurs des volumes négatives car les volumes d'arbres sont naturellement positifs (Kahindo, 2006).

D. Ajustement des données aux équations de régression et analyse résiduelle

Il convient de rappeler que les estimations se rapportent aux arbres non abattus. Conformément aux tarifs les plus fréquemment rencontrés dans la littérature et qui traduisent des contraintes biologiques dans le développement architectural des arbres, nous avons opté également pour un modèle de la forme puissance : (1) $V = aD^b$; où v = volume, D le dhp, et a et b sont les coefficients du modèle. Ce modèle étant non linéaire, et ses données présentant habituellement

de l'hétéroscédasticité (c'est-à-dire une augmentation de la variance du volume avec l'accroissement des diamètres), la transformation log-log permet de se ramener à une régression linéaire : $\text{Log}(v) = a^* + b^* \log(D)$ avec « log » désigne le logarithme népérien (Kahindo, 2009).

Après la transformation log-log, les autres paramètres statistiques nous ont également permis de tester la qualité du modèle dont l'écart-type résiduel (ECTR), intervalle de confiance (IC), etc.

Après le test sur le coefficient de détermination R^2 , le test sur le volume résiduel nous a également servi à prédire la qualité de nos tarifs. En effet, l'analyse résiduelle est basée sur la comparaison des résidus des modèles à un seuil de confiance donnée.

On cherche à avoir une variance qui tend à minimiser la somme de carré des écarts.

La variance résiduelle (Var) est calculée par la relation suivante :

$$\text{Var} = \frac{1}{n} = \sum_{i=0}^n (\text{Vobs} - \text{Vpréd})^2.$$

Variance résiduelle (Var) avec Vobs = volume calculé pour un arbre donné de diamètre connu D et Vprédit = volume estimé par le modèle (soit $\text{vol} = aD^b$). Après ajustement le modèle prédit est : $\text{vol} = as + bsDi + f$

L'écart type résiduel (ECTR)

$$\text{ECTR} = \frac{\sqrt{1}}{n} \cdot \varepsilon(Y_{\text{obs}} - Y_c)^2$$

Avec : Y_o : volume observé de smalian, Y_c : volume calculé (estimé) par équations de régression, n : l'échantillon ;

Le coefficient de variation résiduel (CVR) : il correspond à l'écart type résiduel exprimé en pourcentage de la moyenne (Rondeux, 1998)

$$\text{CVR} = \frac{\text{ECTR}}{Y_c}, \text{ avec } Y_c = \text{moyenne des volumes calculés, ECTR} = \text{écart type}$$

résiduel ;

L'intervalle de confiance (IC)

$IC = \frac{Y_c \pm 2\sqrt{SCE}}{N(N-1)}$, Avec SCE : sommes des carrés des écarts ($Y_o - Y_c$) où N : effectif de l'échantillon

2.2.2.3. Elaboration de tarifs de biomasse

Les différentes étapes du traitement de tarif de biomasse sont presque les mêmes pour celles d'un tarif de cubage :

- calcul de la biomasse individuelle des arbres en fonction de leurs Dhp.
- établissement des équations de biomasse
- la biomasse de fût, peut être obtenue en multipliant le volume du fût par la densité des bois.
- la biomasse totale quant à elle était calculée par le produit de la biomasse de fût par le BEF ou « un facteur d'expansion de biomasse » (Timothy *et al*, 2005, Kahindo, 2009).

Le BEF a également été pris comme une constante.

La valeur moyenne du BEF pour les forêts tropicales humides est généralement de 3,4 (Eggleston, 2006)

- Biomasse (fût) = volume \times ρ
- Biomasse totale = volume du tronc \times $\rho \times$ BEF Où ρ désigne la densité et BEF le facteur d'expansion de la biomasse.

Il est donc important de signaler que, nous avons dû construire des tarifs de cubage et de biomasse à une entrée. Les tarifs de cubage utilisés en aménagement de forêt naturelle sont des tarifs à une entrée qui permettent de déterminer les volumes bruts d'un arbre, conventionnellement compris entre le diamètre de référence et la naissance de la première grosse branche ou du plus gros défaut (ATBIT, 2006 cité par Kahindo, 2009).

CHAPITRE III : PRESENTATION DES RESULTATS

3.1. Distribution des tiges en fonction des classes de dhp

Le tableau 1 ci-dessous présente la distribution des arbres par classe de dhp. Il convient de rappeler qu'au départ de notre étude nous avons choisi 40 arbres de plus de 10 cm de dhp. Cependant, dans le souci de garder le même nombre d'arbres par classe de grandeur comme recommandé bon nombre d'études sur le tarif, nous en avons retenu 5 par classe de dhp (cf. tableau 4 en annexe). C'est ce qui constitue l'échantillon sur lequel l'étude a porté le calcul du volume pour l'élaboration du tarif de cubage et de biomasse.

Tableau 1. Distribution des pieds par classe de dhp

N°	Cl ₁ (cm)	Cl ₂ (cm)	Cl ₃ (cm)	Cl ₄ (cm)	Cl ₅ (cm)	Cl ₆ (cm)	Cl ₇ (cm) (70 cm)
1	13,2	21,0	32,0	43,5	56,2	61,2	73,0
2	15,0	23,8	35,2	44,0	56,3	62,0	75,0
3	17,0	24,5	36,7	46,5	56,3	62,0	78,7
4	18,5	26,2	37,3	47,0	57,0	62,5	78,8
5	19,5	28,5	39,5	48,8	59,1	65,8	
Nb.total/class	5	5	5	5	5	5	5
Nb. Total	35						

Il ressort du ce tableau 1 que de 35arbres de *P. macrocarpus* (dhp> 10 cm) ont été répartis dans 7 classes de dhp raison de 5arbres par classe de dhp.

En dépit de ce nombre et des difficultés d'observation, la plupart de ces pieds présélectionnés pour l'étude présentaient un fut droit, ± cylindrique et bien visible sur toute la hauteur à des distances de 20 à 30 m par rapport aux arbres de mesure échantillonnés. Les arbres ont fait l'objet de catégorisation en deux catégories, à savoir : la qualité A et la qualité B (cf.figure 2 ci-dessous).

3.2. Qualité des fûts

La figure 2 est relative à la catégorisation des fûts des arbres mesurés. Elle indique la forme et les défauts de conformation des fûts des arbres échantillonnés soit les courbures ou les méplats sur le fût.

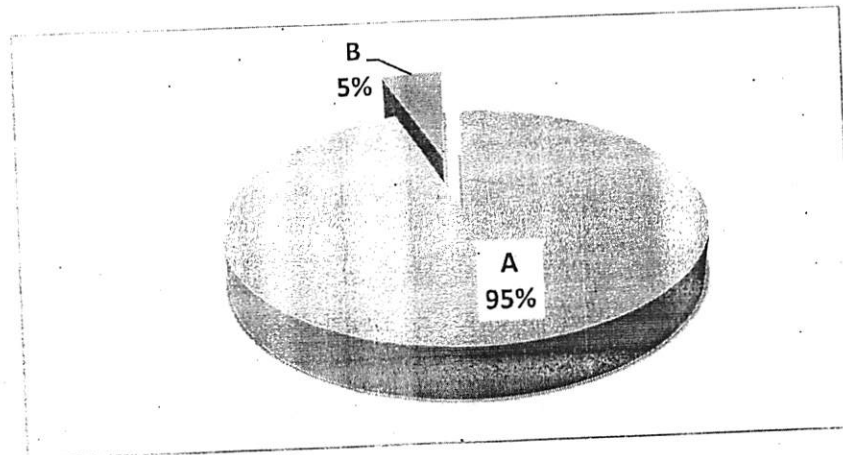


Figure 2 : Qualité des fûts A: [fût droit et cylindrique], B : [1 courbure légère, forme conique, 1 méplat sur toute la hauteur du fût, 2 ou 3 méplats au-dessus des contreforts].

Il ressort de cette figure 2 que, les arbres sur lesquels a porté l'étude, présentaient quelques défauts, mais, la qualité A prédomine avec 95 % et la qualité B ne représente que 5 %.

3.3. Distribution des arbres par classe de diamètre au fin bout (dfb)

La figure 3 ci-dessous présente la distribution des arbres par classe de dfb.

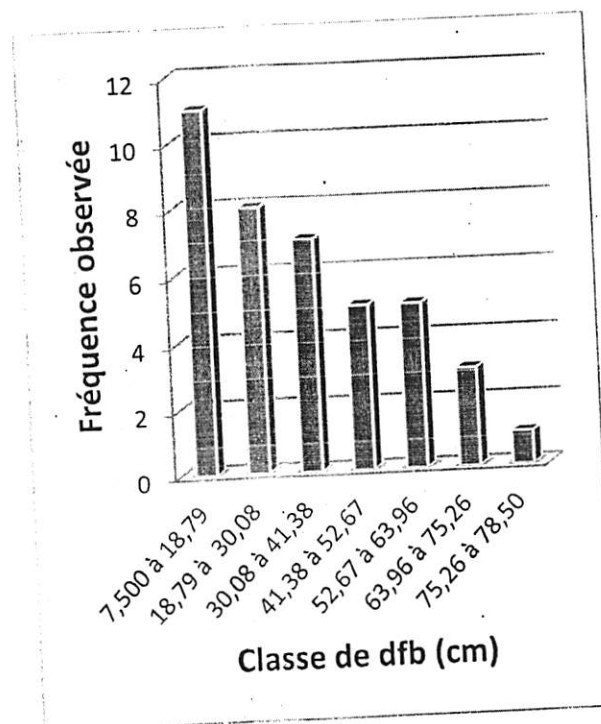


Figure 3 : Nombre des pieds par classe de diamètre au fin bout (dfb)

Il ressort de cette figure que le nombre d'arbres par classe de dfb varie d'une classe à l'autre. Toutefois, le plus grand nombre est observé dans les 2 premières classes entre 7 cm et environ 30,08 cm. Le minimum observé est de 7 cm et le maximum est de 78,50 cm. La courbe a globalement la forme de " J renversé ".

3.4. Distribution des arbres par classe de hauteur fut (Hf)

La figure 4 ci-dessous présente la distribution des arbres par classe d'Hf.

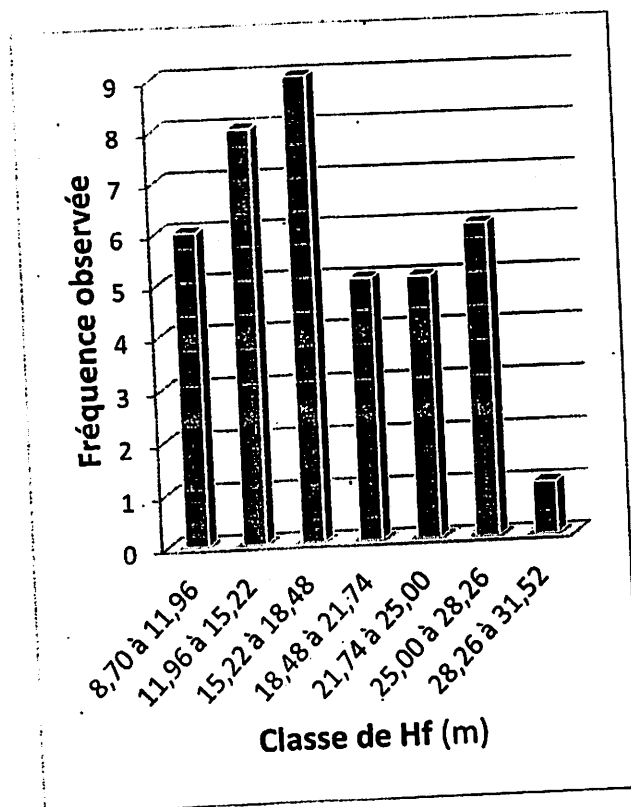


Figure 4. Distribution des pieds par classe de hauteur fût

Il ressort de cette figure 4, que le nombre des pieds par classe de hf a également variée d'une classe à une autre. Pour le cas de notre échantillon sur *P. macrocarpus*, nous avons noté que les arbres possèdent des futs relativement élancés. Le plus grand nombre d'arbres enregistrés a été observé entre 11,96 m et 18,48 m. La longueur minimale observée est de 8 m. La courbe a la forme de " S étiré ".

3.5. Volume fût en fonction du dhp

D'après plusieurs auteurs, les contraintes biologiques se traduisent le plus souvent et le mieux par un modèle de régression de type de puissance ou exponentielle croissante C'est le cas de nos trois variables retenues dans le cadre de cette étude, à savoir le volume fût, biomasse fût ainsi que la biomasse totale des arbres.

Le graphique de la figure 5 ci-dessous présente le volume fût en m^3 en fonction du dhp.

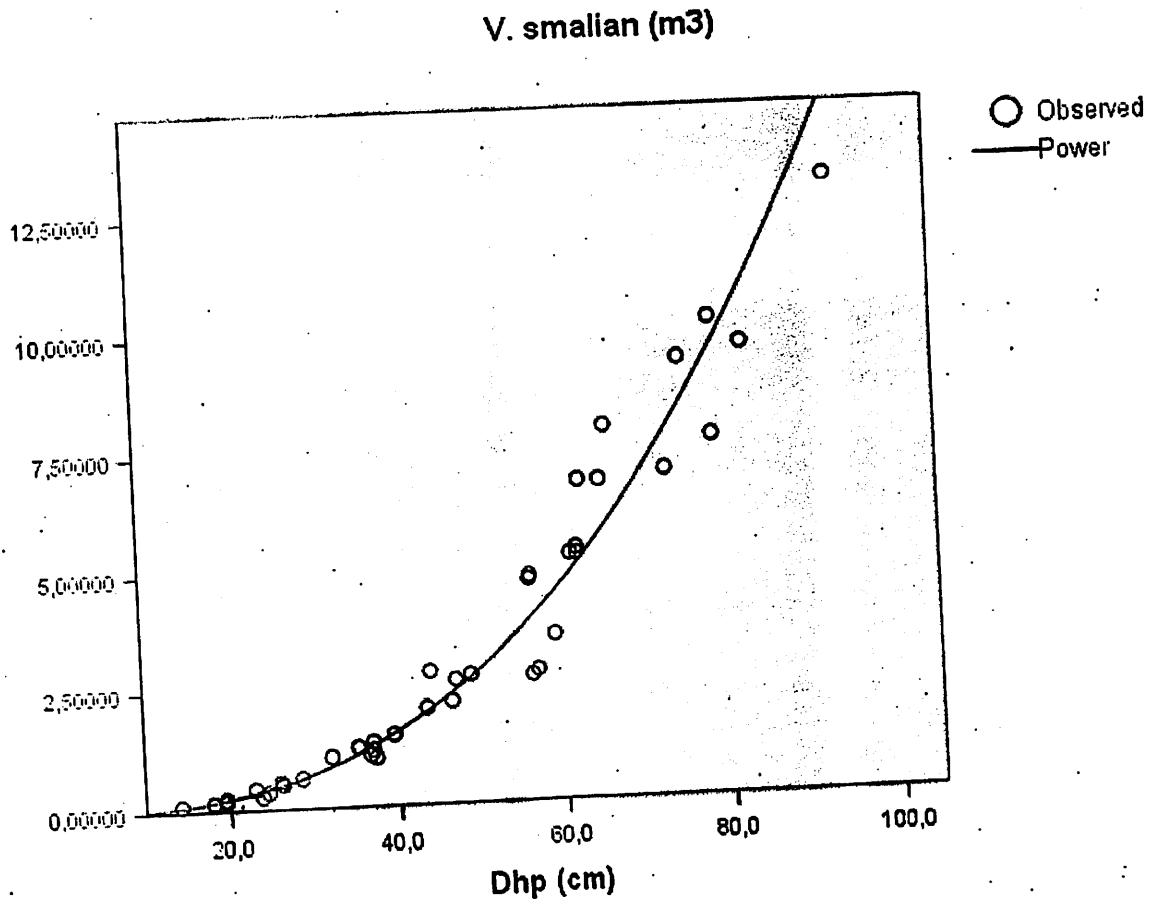


Figure 5: Graphique de cubage (volume en fonction du dhp)

Cette courbe de cubage est donc l'expression du volume en fonction de dhp. Elle laisse voir réellement que l'augmentation des volumes n'est pas proportionnelle à l'augmentation du dhp. On observe une forte hétéroscédasticité (variance de croissance) pour les arbres à partir de 45 cm du dhp. La courbe présente l'allure d'un modèle de puissance. Une transformation log (cf. 2.3.2) peut non seulement réduire cette hétéroscédasticité mais aussi tenter de stabiliser la relation entre le volume (la variable expliquée) et le dhp (variable explicative) par la linéarisation de la courbe.

3.6. Biomasse fut et biomasse totale en fonction du dhp

Comme nous l'avons exprimé au chapitre 2 paragraphe 2.3, la biomasse fut a été obtenue en multipliant le volume des fûts par densité des bois ($g.cm^{-3}$). La biomasse totale quant à elle était calculée par produit de la biomasse de fut par le BEF ou un facteur d'expansion de

biomasse. La valeur moyenne du BEF pour les forêts tropicales humides est estimée approximativement à 3,4. Et comme pour le volume fût, les courbes de biomasse totale en fonction du dhp sont comparables, présentent l'hétéroscedasticité, leurs relations se traduisent mieux par le modèle puissance. La figure 6 ci-dessous présente l'évolution de la biomasse fût et de la biomasse totale en fonction du dhp.

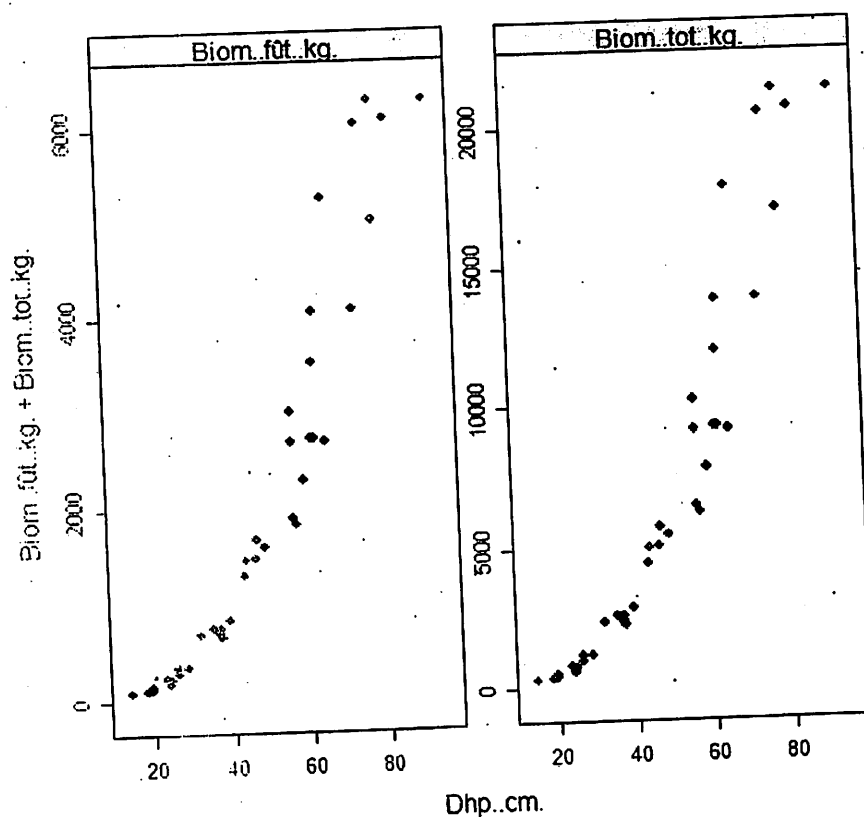


Figure 6: Graphiques de biomasse fût (à gauche) et de biomasse totale (kg) (à droite) en fonction du dhp (cm).

Au regard de ces deux courbes de biomasse fût et biomasse totale qui résultent toutes du volume tout en multipliant les deux constantes (densité de bois et BEF), nous remarquons directement qu'elles sont semblables entre elles (mêmes allures) et ce ne sont que les quantités en ordonnées (échelles) qui marquent la différence de l'une vis-à-vis de l'autre. La biomasse totale est supérieure à la biomasse fût en termes de unités.

3.7. Présentation des modèles de régression

3.7.1 Caractéristique des modèles des régressions

La relation entre le volume et le dhp, nous a permis de calculer et d'examiner quelques paramètres statistiques (leurs coefficients de régression a et b et les coefficients de corrélation "r" et de détermination "R" en vue de retenir celle qui présentera les bonnes caractéristiques

Tableau 2 : Caractéristique des modèles de régression

Modèle	Coefficients de régression			Coeff. de corrélation	Coeff. de détermination
	a	b		r	R
Linéaire	0,92494126	0,15367224		0,8947	80,04
Logarithmique	-18,6070956	5,89859858		0,7477	55,90
Inverse	8,08361117	-172,197665		0,5537	30,65
Quadratique	0,14620061	-0,14600	0,0618216	0,9564	91,47
Puissance	0,000081379	2,6732643		0,9801	96,05
Exponentielle	0,09804867	0,06182163		0,9249	85,54

3.7.2. Choix des modèles de régression

Le choix de la meilleure équation parmi les 6 modèles s'est respectivement basé sur la comparaison des caractéristiques de chacune d'elles. En effet, celle dont les coefficients de détermination R sont les plus élevés et dont l'écart type résiduel du volume est le plus bas devrait être retenue pour le tarif de cubage spécifique. Le tableau ci-dessous présente l'écart-type résiduel et le coefficient de détermination (R) en vue du choix de la meilleure.

Tableau 3. Comparaison des paramètres de choix des équations : coefficient de détermination (R) et l'écart-type résiduelle (ECTR).

Modèle de régression	Ecart-type résiduelle (ECTR)	Coefficient de détermination (R ²) en %
Linéaire	2,315	80,04
Logarithmique	3,08	55,90
Inverse	17,64	30,65
Quadratique	4,35	91,47
Puissance	1,24	96,05
Exponentiel	11,05	85,54

Eu égard aux résultats du tableau, le modèle puissance est retenu à faveur des autres (linéaire, logarithmique, inverse, quadratique et exponentiel) car il présente le coefficient " R " le plus élevé soit 96,05 mais avec une écart-type résiduelle la plus faible ou résidus (soit 1,24).

3.7.3. Equation de cubage et de biomasse

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques, la forme et les différents paramètres (coefficients des régressions, de corrélation r et de détermination R) des équations retenues pour les préparations du volume fût, la biomasse fût et la biomasse totale des arbres en fonction du dhp.

Tableau 4. Paramètres des équations de régression des 3 variables prédites.

Variable	a	b	R	Forme de l'équation
Volume fût (m ³)	0,000081378	2,6732643	96,05	VF = 0,000081378 x D ^{2,6732643}
Biom. fût (kg)	0,0510962	2,6601857	96,26	BF = 0,0510962 x D ^{2,6601857}
Biom. totale (kg)	0,1737271	2,6601857	96,26	BT = 0,1737271 x D ^{2,6601857}

Au regard de ce tableau, les variables prédites, à savoir : le volume, la biomasse et la biomasse totale des arbres se sont bien traduit en un même type d'équation, le modèle du type " puissance ".

3.7.4. Courbe ajustée

L'ajustement des données à une courbe linéaire linéarisée consistant à l'introduction des logarithmes de manière cherche à réduire la dispersion (l'hétéroscédasticité) de points autour de la courbe d'équation du volume en fonction de dhp et de stabiliser la variance résiduelle. La figure 5 ci-dessous montre nuage de point de courbe de volume fût ajustée ou linéarisée.

Après transformation des paramètres, sa forme linéarisée devient : $\log y = \log a + \log D + \eta$ (ou η représente le résidu à minimiser = 23,15) (cf. 3.7.2 ou 3.6.2 ci-dessus).

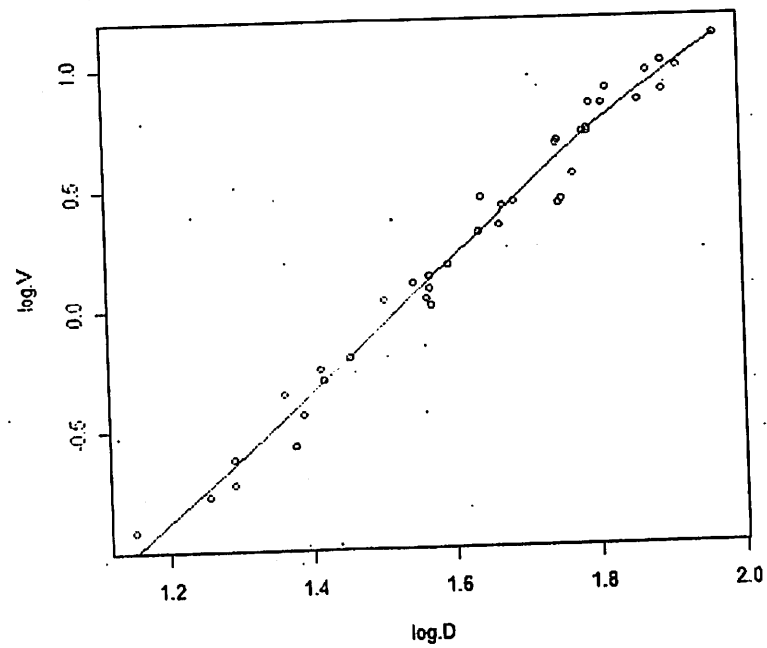


Figure 7. Courbe ajustée aux données des volumes des arbres

*Travail de fin d'études***3.7.5. Barème de cubage**

Ce barème de cubage permet d'estimer directement le volume fût en fonction du dhp suivant la validité du tarif, soit à partir du dhp minimum ou dhp maximum par rapport à l'échantillon de départ. Les lignes du tableau correspondent aux classes du dhp tandis que les colonnes correspondent dans chacune des classes aux intervalles de classe au sein (tableau 5).

Tableau 5 : Barème de cubage

Essence: <i>Petersianthusmacrocarpus</i> (Essia)										
Réserve forestière de Yoko										
Caractéristiques de l'équation: $Vol = 0,000081378 \times D^{2,6732643}$										
dhp (cm)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,0384	0,0495	0,0624	0,0773	0,0943	0,1134	0,1347	0,1584	0,1846	0,2133
2	0,2446	0,2787	0,3156	0,3554	0,3983	0,4442	0,4933	0,5457	0,6014	0,6605
3	0,7232	0,7894	0,8594	0,9330	1,0106	1,0920	1,1774	1,2669	1,3605	1,4583
4	1,5604	1,6669	1,7778	1,8932	2,0132	2,1379	2,2673	2,4014	2,5405	2,6844
5	2,8334	2,9874	3,1466	3,3110	3,4806	3,6556	3,8360	4,0219	4,2133	4,4103
6	4,6130	4,8214	5,0356	5,2556	5,4816	5,7136	5,9516	6,1957	6,4460	6,7026
7	6,9654	7,2346	7,5102	7,7923	8,0810	8,3762	8,6781	8,9867	9,3021	

CHAPITRE IV : DISCUSSION DES RESULTATS

4.1. Comparaison des tarifs

L'objectif de notre travail était d'élaborer un tarif de cubage et de biomasse spécifique à l'espèce *P. macrocarpus* à Yoko (2016), de décrire ses caractéristiques et de comparer ces dernières avec celles des tarifs de cubage établi par la SPIAF dans plusieurs provinces pour la même espèce.

Il convient donc de rappeler en ce qui concerne la forme comme pour les tarifs de la SPIAF, nous avons obtenu un tarif de cubage à une entrée, pour un modèle puissance ($Y = ax^b$).

D'autre part, quant aux caractéristiques des tarifs, la différence entre ces derniers relève numériquement de leurs paramètres, à savoir les coefficients a et b .

Le tableau 6 ci-dessous présente les paramètres de notre tarif comparé avec ceux établis par la DIAF dans 4 Provinces à savoir : Ex Orientale, Ex Bandundu, Ex Bas-congo et Ex Equateur

Province	Coefficients de régression	
	a	b
Yoko 2016	0,000081379	2,673264
Ex Bas-Congo	0,00061453	1,975452
Ex Bandundu	0,00018242	2,275050
Ex Equateur	0,00061458	1,975452
Ex Prov. Orientale	0,00002643	2,275605

Le constat fait de ce tableau est que les paramètres de chacun des tarifs diffèrent d'une province à l'autre d'un site à l'autre au sein d'une même province. Allusion faite à notre tarif en province Orientale démembrée.

Ceci relèverait exactement de la validité de chacun de 5 tarifs. Il convient de rappeler que les résultats de plusieurs études convergent et ont abouti à la conclusion selon laquelle la plupart de contraintes biologiques se traduisent le plus sous le modèle puissance DIAF (2009), Kahindo et al., (2010) et Picard (2005), ceci répondant à la première hypothèse de notre étude selon laquelle le tarif de cubage et de biomasse de *P. macrocarpus* dans la réserve forestière de Yoko suit également le modèle puissance comme ceux établis dans d'autres provinces par la DIAF (2009) (Figure 8)

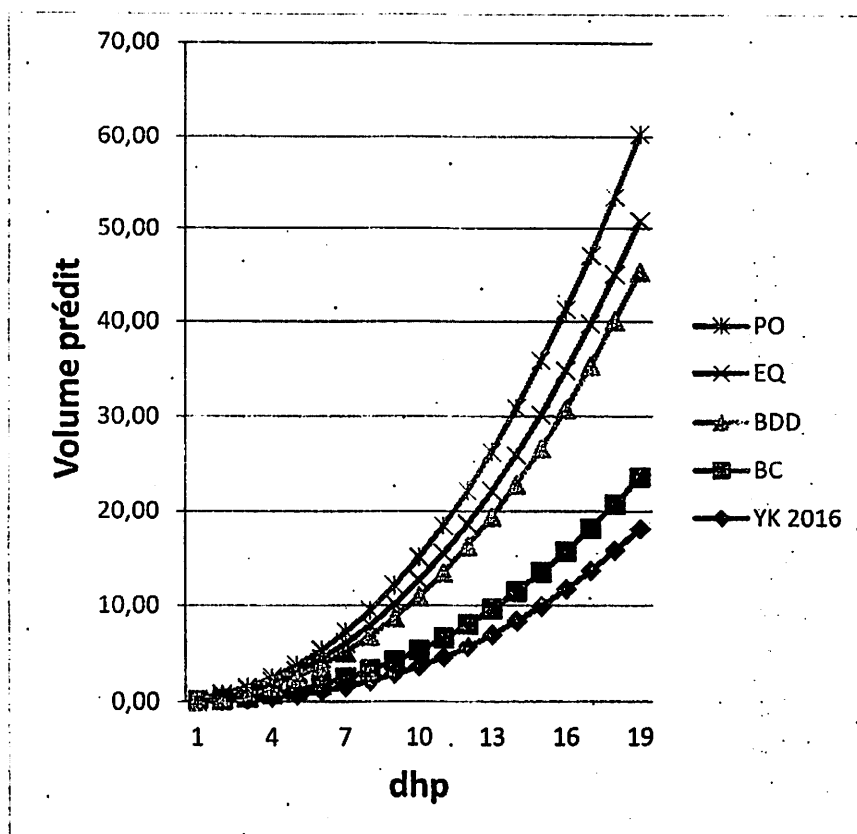


Figure 8 : Illustration l'évolution de volume généré par le paramètre a et b en fonction du Dhp

Il ressort de cette figure, qu'en remplaçant les paramètres a et b par leurs valeurs dans chacun des tarifs, comparativement à ceux du tarif de référence (de Yoko), on distingue nettement deux grandes catégories : d'un côté qui surestimerait le volume quelques soient les classes de dhp respectivement ceux des ex-provinces de Bandundu, d'Equateur et d'ex province Orientale et un seul tarif qui sous estimerait relativement le volume de l'autre. Cette dernière catégorie concerne le tarif de l'ex province du Bas Congo.

Au regard ces tarifs des cubages et dans le cas échéant, on peut estimer qu'ils ne peuvent pas se substituer les uns par les autres en ce qui concerne l'estimation du volume. Leur application est limitée par leur validité respectivement.

4.2. Tarifs de biomasse

La plupart de travaux sur la biomasse, les équations allométriques partent de la méthode destructive. (Ebuy 2009 ; Picard, 2005).

Cependant, la grande partie de ceux à notre possession, quant à l'élaboration des tarifs de biomasse relèvent de la méthode indirecte (Cfr revue de la littérature, travaux antérieurs).

Néanmoins, nos résultats démontrent qu'à la limite des méthodes d'études modernes, telles que la coupe de bois (méthode directe), la télédétection, le SIG, les mesures sur des arbres non aboutis constituent, dans le contexte de notre pays, la méthode la plus accessible (Kadetwa, 2014) dans la mesure de la biomasse aérienne.

CONCLUSION ET SUGGESTION

Cette étude avait pour objectif, l'élaboration de tarif de cubage et de biomasse de *P. macrocarpus* en fonction du dhp dans la réserve forestière de Yoko.

Au cours de celle-ci, nous avons obtenu des tarifs des cubages et des biomasses à une entrée : le diamètre à hauteur de poitrine (dhp).

Pour la construction de cet tarif, notre échantillon était constitué de 35 pieds de *P. macrocarpus* non abattus (volume d'arbre sur pied) repartie en 7 classe de dhp et ayant un diamètre (dhp) supérieure ou égal à 10 cm.

Le calcul du volume sur pieds s'est fait selon la méthode de cubage par billons successifs en utilisant la formule de Smalian : $V = \frac{\pi \cdot L}{4} (d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2) = \frac{\pi \cdot L}{4} \sum_{n=1}^n d_i^2$.

Pour le prélèvement des données sur les diamètres et les hauteurs fûts ; nous avons utilisé le relascope de Bitterlich à bande étroite et large.

La biomasse fût quant à elle, était estimée à partir du produit des volumes fut par la densité et la biomasse (BEF) par la densité de bois et le volume du tronc.

Au cours de cette étude, nous sommes arrivés à un modèle de cubage dont l'équation est la suivante : $VF = 0,000081378 \times D^{2,6732643}$ (une équation de régression du puissance) a été développée.

Et le tarif de biomasse respectivement pour la biomasse fut et les biomasses totales des arbres sont :

$$BF = 0,0510962 \times D^{2,6601857}$$

$$BT = 0,1737271 \times D^{2,6601857}$$

Nous suggérons que les études sur les tarifs de cubage et de biomasse soient multipliée sur différents réserves et sur l'espèce *P. macrocarpus* pour mettre en place des bases de données applicables à plusieurs endroits non seulement pour l'intérêt des recherches scientifiques mais également pour l'intérêt économique et autre, tels que estimation de bois énergie, production des PFNL (chenilles) et bois de construction consomme sur marché localement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Biguma, J., 2006 : Contribution à l'élaboration d'un tarif de cubage de *Staudtia stipitata* (= syn Kamerunensis/Warb) dans la réserve de Loweo (Yangambi, RDC) mémoire inédit FSA/UNIKIS, 49p.
- CTFT, 1985. Meimonto du forestier. 3ème édition. Ministère de la coopération. République Française, 1257
- Dagnelie, P., 1989 : Tables de cubage des arbres et des peuplements forestiers presses agronomiques de Gembloux, Belgique, 378p.
- DIAF, 2009, Liste des essences forestières de la RD Congo, DIAF. 52 p.
- Ebuy, A., 2009. Estimation du stockage de carbone dans les plantations de l'INERA à YANGAMBI. (RD Congo) : Cas d'autranella congoleis (De Wild.) A. chev., de Gilbertiodendron dewevrei (De Wild.) J. Léonard et de *Drypetes Likwa* J. Léonard. DEA Fac.Sci./UNIKIS, 125 p.
- Eggleston S, (2006): Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, vol4, Japan .678 p.
- FAO, 1997: Les forêts au service de la sécurité alimentaire. Not Faune, pp 17-19.
- Germain, R et Evrard, C. (1954) : Etude écologique et physiologique de la forêt a *Brachystegia laurentii*, Serie No 67 INEAC 102 p.
- Guitet, S. 2007. Principales définitions utilisées dans le model de l'offre mondiale.
- Ifuta, N.B. 1993. Paramètres écologiques et hormonaux durant la croissance et la reproduction d'*Epomops franquet* (Mammalia : Chiroptera) de la foret ombrophyle équatoriale de Masako (Kisangani-Zaïre). These inédite, KUL, 142 p.
- Kahambu, K., 2015 : Elaboration du tarif de cubage et de biomasse pour *Milletia laurentii* de Wild dans le jardin zoologique de Kisangani (Province de la Tshopo, R.D.Congo). Mémoire inédit, FGRNR/UNIKIS, 36p.
- Kaderwa, K., 2015 : Elaboration du tarif de cubage et de biomasse pour *Terminalia superba* Engel & Diels dans le jardin zoologique de Kisangani (Province de la Tshopo R. Congo). Mémoire inédit, FGRNR/UNIKIS, 39 p.
- Kahindo, M., 2006 : Contribution à l'élaboration d'un tarif de cubage de *Futumia africana* (Benth/Stapt) dans la réserve forestière de la Yoko (Nord Ubundu, Province Orientale, RDC) Mémoire inédit FSA/UNIKIS, 42p.

- Kahindo, M., 2009 : Elaboration de tarif de cubage et de biomasse pour *Gilbertiodendron dewevrei* (DeWild) J.Léonard, *Guarea thompsonii* sprague & Hutch et *Scorodophloeus zenkeri* Harms dans la réserve forestière de la Yoko (Ubundu, Province Orientale, RDC) Mémoire DEA/UNIKIS, 67 p
- Kambale, M., 2006 : Contribution à l'élaboration d'un tarif de cubage de *Gilbertiodendron kisanuense* (Vermoesen ex. DeWild) Léonard. Dans la réserve forestière de la Yoko (Bloc Nord), Ubundu, Province Orientale, RDC. Mémoire inédit, FSA/UNIKIS, 46 p.
- Lanly, 1965. Les tarifs de cubage. Revue Bois et forêts des tropiques. N° 100, pp 19-35.
- Lebrum et Gilbert, 1954 : Une classification écologique des forêts du Congo Bruxelles, Belgique; INEAC.58p.
- Lomba et Ndjole, (1998) : Utilisation de la méthode de transept en vue de l'étude de la phytodiversité dans la réserve de Yoko Fac .Sc. /UNIKI, pp 35-46.
- Lomba, B 2007 : Contribution à l' étude de la phytodiversité de la réserve forestière de Yoko .D.E.S inédit, Fac, sc. /UNIKIS ,60 p.
- Mabiala, M 1981 : Normes d'inventaire forestier. Tarif des cubages cahier N°3, N°4 SPIAF, Kinshasa, 70 p.
- Malongola, J (2010) : Etablissement de tarif de cubage : *Gilbertiodendron dewevrei* J. Léonard, *Diospyros Chyscarpa* .F. White et *Diogo zenkeri* (Engler) Excel et Men de biomasse pour *Gilbertiodendron dewevrei* dans la forêt expérimentale RD CONGO/ TFC inédit, ISEA/Bengamisa, 35 p.
- Massenet J-Y., 2005. Chapitre I: Grosseur des arbres. Lycée forestière-château de Mesnières. 12 p.
- Matondo, D. (2012) : Elaboration de tarif de cubage et de biomasse de *Brachystegia laurentii* (De Wild.) Louis dans les peuplements monodominants de la réserve de Yangambi. Mémoire inédit FSA/UNIKIS, 37 p.
- Nshimba, M. 2008. Etude floristique, écologique et phytosociologies des forêts de l'île Mbiye à Kisangani (RDC) Thèse de doctorat, ULB, labo. Bot. Syst, 271 p.
- Nyakabwa, M., 1982. Phytocénose de l'écosystème urbain de Kisangani. Thèse de Doct UNIKIS, Fac, SC vol. 1,2 & 998 p.

- Otoma. B., 2007 : Contribution à l'élaboration de tarif de cubage de *Petersianthus macrocarpus* P.Beauw 1968 dans la réserve forestière de Masako Kis RDC. TFC ICEA/Bengamisa.
- Parde J., Bouchon J., 1988 Dendrométrie. Nancy, France, ENGREF, 328 p.
- Picard, N., Syllas, L-M., 2005: Guide méthodologique des évaluations rapides de bois énergies, PREDAS, 80 p.
- Picard. N., Saint-André, L., Henry M., 2012. Manuel de construction d'équations allométriques pour l'estimation du volume et la biomasse des arbres. De la mesure de terrain à la prédiction. FAO et Cirad, Rome, Montpellier, 217 p.
- Reyes, G., Brown, S., Chapman, J., Lugo, A-E. 1992. Wood Densities of Tropical Tree Species. New Orleans, LA: USDA Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry. 15 p. (Gen. Tech. Rep. SO; 88).
- Rondeux, J-J *et al*, 1998 : Construction de tarif de cubage d'arbres pour *l'aulne glutineux* (*Alnus glutinosa* (L) Gaertn) presses agronomiques de Gembloux, Belgique, pp1-11.
- Rondeux, J. 1999. La mesure des arbres et des peuplements forestiers. Presse Universitaire de Gembloux, Belgique, 521 p.
- SPIAF, 2007. Guide opérationnel. Liste des essences forestières de RD Congo. Ministère de l'environnement, conservation de la nature et tourisme. SPIAF, 44 p.
- Timothy, M. et Brown, 2005 : Guide des mesures et de suivi du carbone dans les forêts et prairies Herbeuses. Winrock international. Écosystème Service Unit 1621. N Kent St, Suite 1200 Arlington, VA 22209, 39 p.
- Van Wambeke A. et Evrard C., 1954. Notice explicative de la carte des sols et de la végétation du Congo Belge et du Rwanda-Burundi. 6. Yangambi : planchette 1 : weko, A et B. Bruxelles Publ. INEAC., 23 p.

Table des matières

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS.....	ii
RÉSUMÉ.....	iii
SUMMARY.....	iv
0. INTRODUCTION	1
0.1. Problématique.....	1
0.2. Hypothèses.....	2
0.3. Objectifs	2
0.3.1. Objectif général	2
0.3.2. Objectifsspécifiques	2
0.4. Intérêt	3
0.5. Subdivision du Travail.....	3
0.6. Travaux antérieurs	3
CHAPITRE PREMIER : LES GENERALITES.....	5
1.1. MILIEU D'ETUDE	5
1.1.1. Situation administrative et géographique.....	5
1.1.2. Facteurs abiotiques	6
1.1.2.1. Le climat.....	6
1.1.2.2. Les Sols.....	7
1.1.2.3. Végétation.....	7
1.2. Description de l'espèce	7
1.2.1. Identification	7
1.2.2. Répartitions géographique	8
1.2.3. Utilisations	8
1.3. Généralités sur le tarif de cubage et tarif de biomasse	9
1.3.1. Tarif de cubage	9
1.3.1.1. Définition	9
1.3.1.2. Types de tarifs de cubage	9
1.3.1.3. Usages du tarif de cubage	9
1.3.2. Tarif de biomasse	10
DEUXIEME CHAPITRE : MATERIEL ET METHODES DE TRAVAIL.....	11
2.1. Matériel du travail	111

2.2. Méthodes du travail	111
2.2.1. Echantillonnage	111
2.2.1.1. La taille de l'échantillon.....	11
2.2.2. Traitement des données	122
2.2.2.1. Préparation des données.....	12
2.2.2.2. Construction des tarifs de cubage.....	12
2.2.2.3. Elaboration de tarifs de biomasse.....	14
TROISIEME CHAPIRE : PRESENTATION DES RESULTATS.....	15
3.1. Distribution des tiges en fonction des classes de dhp.....	15
3.2. Qualité des fûts.....	16
3.3. Distribution des arbres par classe de diamètre au fin bout (dfb).....	17
3.4. Distribution des arbres par classe de hauteur fut Hf.....	18
3.5. Volume fût en fonction du dhp.....	18
3.6. Biomasse fut et biomasse totale en fonction du dhp.....	19
3.7. Présentation des modèles de régression.....	20
3.7.1. Caractéristique des modèles des régressions.....	20
3.7.2. Choix des modèles de régression	21
3.7.3. Equation de cubage et de biomasse.....	21
3.7.4. Courbe ajustée.....	22
3.7.5. Barème de cubage.....	23
CHAPITRE IV : DISCUSSION.....	24
5.1. Comparaison des tarifs.....	24
5.2. Tarifs de biomasse.....	26
CONCLUSION ET SUGGESTION.....	27
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	28
Annexe.....	29
TABLE DES MATIERES.....	30

Annexe

Tableau 4 : Distribution des pieds par classe de dfb

Classe	Fréq. obs	Fréq. rel	Fréq. Cum
7,500 à 18,79	11	27,50	27,50
18,79 à 30,08	8	20,00	47,50
30,08 à 41,38	7	17,50	65,00
41,38 à 52,67	5	12,50	77,50
52,67 à 63,96	5	12,50	90,00
63,96 à 75,26	3	7,50	97,50
75,26 à 78,50	1	2,50	100,00
Total		35	

Classe	Fréq. obs	Fréq. rel	Fréq. Cum
8,70 à 11,96		15,00	15,00
11,96 à 15,22		20,00	35,00
15,22 à 18,48		22,50	57,50
18,48 à 21,74		12,50	70,00
21,74 à 25,00		12,50	82,50
25,00 à 28,26		15,00	97,50
28,26 à 31,52		2,50	100,00
Total		35	