

UNIVERSITE DE KISANGANI
FACULTE DES SCIENCES

Département d'Ecologie et Gestion
des Ressources Végétales



BP 2012
Kisangani

Elaboration des tarifs de cubage et de biomasse pour *Gilbertiodendron dewevrei* (De Wild.) J. Léonard, *Guarea thompsonii* Sprague & Hutch. et *Scorodophloeus zenkeri* Harms dans la réserve forestière de Yoko (Ubundu, Province Orientale, RDC)

Par

Thierry KAHINDO MALIRO

MEMOIRE

Présenté et défendu en vue de l'obtention du Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA) en Gestion de la Biodiversité et Aménagement Forestier Durable.

Promoteur: Pr. Dr. Ir. LOKOMBE DIMANDJA. (ISEA)

Co-Promoteur: Dr. Nicolas PICARD (CIRAD)

ANNEE ACADEMIQUE 2008-2009

A vous vous chers parents : Justin MUTENGI et Baziliane KAVIRA
pour votre détermination en notre éducation jusqu'à faire de nous
personne instruite;

A vous frères et sœurs, cousins et cousines, neveux et nièces.

Je dédie ce travail !

Thierry Kahindo Maliro

REMERCIEMENTS

Ce mémoire de DEA est une résultante d'efforts, d'encouragements et de réflexions de plus d'une personne. Raison pour la quelle, à ce jour de sa rédaction nous avons le plaisir de remercier toutes les personnes qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à sa réalisation.

Nos remerciements vont naturellement d'abord au Professeur Docteur Ingénieur LOKOMBE DIMANDJA qui, en dépit de ses multiples tâches avait disposé son temps et accepté d'être le promoteur de ce travail.

Nous tenons à remercier sincèrement le Docteur Nicolas PICARD, (Co-Promoteur du travail) pour l'appui technique et scientifique qu'il a apporté dans l'élaboration du protocole, la récolte, le traitement de nos données de terrain ainsi que la rédaction.

Nous avons également l'obligation de remercier les initiateurs du projet REAFOR pour leur volonté de promouvoir la recherche à travers ce vaste programme de formation en gestion de la diversité et aménagement forestier durable.

Nous pensons en outre au Professeur Jean LEJOLY de l'Université libre de Bruxelles pour son appui tant moral que matériel à notre faveur et son implication personnelle dans la réussite du Projet.

Nos vifs remerciements s'adressent aux Professeurs Léopold NDJELE MIANDA-BUNGI (UNIKIS), Jean-Pierre MATE Mweru (UNIKIS) respectivement aux fonctions de Coordonnateur et Coordonateur adjoint de la recherche Forestière du projet au niveau national.

Nous disons aussi grand merci à tout le corps professoral : enseignants locaux et ceux des institutions internationales qui ont, en dépit de leurs tâches, accepté de venir donner cours durant la formation. Nous pensons particulièrement aux professeurs: Quentin PONETTE (UCL), Jan BOGAERT (ULB), aux Docteurs Robert NASI et Denis SONWA (tous de CIFOR) et au docteur Hans BEECKMAN (MRAC).

Nos remerciements vont aussi à l'endroit des doctorants : Jean-Marie KAHINDO, Christian AMANI, Faustin BOYEMBA, Consolate KASWERA, Franck BAPEAMUNI, Prosper SABONGO, Sylvain KUMBA, etc. avec qui nous étions presque tous les temps sur le terrain dans les forêts de Yoko.

Nous remercions sincèrement notre propre famille pour la grande disponibilité et l'encadrement moral qu'elle ne cesse de prêter à notre faveur. Sans leur appui matériel et financier nos efforts seraient nuls.

Nous témoignons notre confiance à tous les vaillants collègues Masters pour l'endurance et la franche collaboration dont ils ont fait preuve tant dans l'auditoire que sur terrain pour la réussite et le succès de différentes activités scientifiques collectives (stages, récolte des données, travaux dirigés, etc.) tout au long de notre formation.

Que tous les amis que nous avons pu rencontrés tout au long de nos études universitaires, les techniciens et guides de terrain de Yoko: Michel KILIOBO, MORINO et Trésor LIBANDE, Didier INANGA, Eric,... acceptent enfin notre expression de reconnaissance pour leur rôle surtout durant la période de récolte des données de terrain.

A vous tous aussi, que ce travail soit un symbole d'un bon souvenir de la vie !

Thierry KAHINDO MALIRO

RESUME

Une étude portant sur l'élaboration des tarifs de cubage et de biomasse de *Guarea thompsonii*, *Gilbertiodendron dewevrei* et *Scorodophloeus zenkeri*, a été réalisée dans la réserve forestière de Yoko (Ubundu, RDC).

L'échantillonnage était constitué de 150 arbres non abattus pour l'espèce *Guarea thompsonii*; 166 arbres pour *Gilbertiodendron dewevrei* et 143 pour *Scorodophloeus zenkeri*.

Le volume du fût a été calculé selon la méthode de cubage par billon successif à l'aide de la formule de Huber.

Les équations de régression du volume sont:

- $\text{Vol} = 0,000093119 \times D^{2,49657}$ (*Guarea thompsonii*);
- $\text{Vol} = 0,000323727 \times D^{2,19912}$ (*Scorodophloeus zenkeri*);
- $\text{Vol} = 0,0001720286 \times D^{2,32548}$ (*Gilbertiodendron dewevrei*).

La biomasse totale (B.totale.) par espèce s'exprime par les équations suivantes:

- $\text{B.totale} = 0,1689318 \times D^{2,49657}$ (*Guarea thompsonii*);
- $\text{B.totale} = 0,7484656 \times D^{2,19912}$ (*Scorodophloeus zenkeri*);
- $\text{B.totale} = 0,7484656 \times D^{2,19912}$ (*Gilbertiodendron dewevrei*).

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

Les résultats des tests statistiques montrent que les tarifs de Yoko sont différents de ceux des autres régions pour les trois espèces étudiées.

Mots clés : *Guarea thompsonii*, *Gilbertiodendron dewevrei* et *Scorodophloeus zenkeri*, équations de volumes et de biomasse, réserve forestière de Yoko.

ABSTRACT

A survey carrying on the development of the volume tables and biomass of *Guarea thompsonii*, *Gilbertiodendron dewevrei* and *Scorodophloeus zenkeri*, has been achieved in the forestry reserve of Yoko (Ubundu, DRC).

The sampling was constituted of 150 non dejected trees for the species *Guarea thompsonii*; 166 trees for *Gilbertiodendron dewevrei* and 143 for *Scorodophloeus zenkeri*.

The volume of the stock has been calculated according to the method of cubage by successive billon with the help of the formula of Huber.

The equations of regression of the volume are:

- $\text{Vol} = 0,000093119x D^{2,49657}$ (*Guarea thompsonii*);
- $\text{Vol} = 0,000323727 x D^{2,19912}$ (*Scorodophloeus zenkeri*);
- $\text{Vol} = 0,0001720286 x D^{2,32548}$ (*Gilbertiodendron dewevrei*).

The total biomass (biomass) by species expresses by the following equations:

- $\text{biomass} = 0,1689318 x D^{2,49657}$ (*Guarea thompsonii*);
- $\text{biomass} = 0,7484656 x D^{2,19912}$ (*Scorodophloeus zenkeri*);
- $\text{biomass} = 0,7484656 x D^{2,19912}$ (*Gilbertiodendron dewevrei*).

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

The results of the statistical tests show that the volume tables of Yoko are different from those of the other regions for the three studied species.

Key words: *Guarea thompsonii*, *Gilbertiodendron dewevrei*, *Scorodophloeus zenkeri*, equations of volumes and biomass, forest reserve of Yoko.

INTRODUCTION

0.1. Problématique

Dans le cadre de l'aménagement d'une formation naturelle, il est indispensable au gestionnaire de posséder des outils lui permettant de connaître le capital ligneux sur pied. Ces outils sont les tarifs de cubage donnant le volume total du peuplement ou les volumes individuels des arbres formant ce peuplement (Louppe et al. 1992). À ce volume on peut associer des études de biomasse selon des modèles préétablis pour divers types de forêts. Certes le volume ainsi que la biomasse sont deux termes aussi indispensables dans la connaissance de la dynamique forestière.

En effet, les tarifs de cubage s'ils trouvent un écho important auprès de nombreux forestiers (exploitants forestiers et chercheurs), c'est en raison du fait qu'on peut les relier aux transactions commerciales (Rondeux 1999, Gaudin 1998). Selon les études de la FAO (2000), les informations sur le volume et la biomasse sont importantes à l'issu des inventaires forestiers car elles permettent d'estimer le potentiel économique du matériel ligneux sur pied mais aussi les réserves de carbone. Elles peuvent être liées à l'évaluation du cycle du carbone et aident aussi le gestionnaire à prendre des décisions vis-à-vis du capital forestier disponible, dans la planification forestière, l'organisation de la filière bois et la vente de superficies forestières aux tierces personnes (adjudication, concessions).

Peu d'études cependant en matière de tarif de cubage et de biomasse ont été menées dans le cadre de nos forêts congolaises non aménagées pour la plupart et dont la réserve forestière de Yoko en particulier.

En effet, de par leur complexité, la grande diversité floristique et faute de moyens, il semble aussi difficile et coûteux aux chercheurs d'élaborer des tarifs de cubage (ou de biomasse) pour toutes les espèces. Et même si l'on peut procéder à l'estimation du volume ligneux sur pied potentiellement aménageable et exploitable, la masse de données à traiter serait énorme alors que les études de volumes et de biomasse ne sont qu'un aspect dans les études de dynamique forestière. Ainsi on peut se limiter à n'élaborer que des tarifs par ordre de priorité, selon les besoins et les objectifs poursuivis par des projets de recherche.

C'est dans cette logique que la présente étude souscrit à établir des modèles de cubage pour trois espèces d'arbres à savoir : *Guarea thompsonii*, *Gilbertiodendron dewevrei* et *Scorodophloeus zenkeri* dans la forêt de Yoko. Elle cherche ainsi à connaître le volume sur pied et vise tout de même par la méthode indirecte à en calculer la biomasse totale en partant de ces volumes sur pied. L'on estime également que certaines informations, comme la répartition, l'abondance spécifique pourront s'en suivre et être combinées à ces tarifs de cubage ou de biomasse (équations de calcul du volume ou de la biomasse de bois) afin d'estimer le potentiel exploitable.

Le choix a été porté sur trois espèces en raison de leur importance économique, leurs usages locaux d'une part (*Guarea thompsonii*, *Gilbertiodendron dewevrei* et *Scorodophloeus zenkeri*), leur biologie associative et leur abondance (toutes) à l'échelle du site de travail, d'autre part.

La donnée de base était le diamètre à hauteur de poitrine d'homme (dhp), ce qui correspond à une hauteur de mesure de 1,30 m au dessus du niveau du sol : il s'agit de la variable explicative qui permettra de prédire le volume ainsi que la biomasse des espèces.

0.2. Hypothèses de travail

Pour mener notre étude, nous sommes partis de trois hypothèses:

- Les tarifs de cubage de la Yoko pour les trois espèces suivraient un même modèle de régression non linéaire,
- La corrélation entre les paramètres dendrométriques, en l'occurrence le dhp, la hauteur du fût d'une part, et le volume ou la biomasse d'autre part, serait très forte,
- La qualité des tarifs de cubage de la Yoko serait supérieure à celle des tarifs établis par la Direction d'Inventaire et d'Aménagement Forestier (Service Permanent d'Inventaire et d'Aménagement Forestier) pour d'autres régions.

0.3. Objectifs du travail

0.3.1. Objectif général

Comme indiqué ci-haut, cette étude cherche à établir des modèles (tarifs) de cubage locaux pour trois espèces d'arbres à savoir : *Guarea thompsonii*, *Gilbertiodendron dewevrei* et

Scorodophloeus zenkeri dans la réserve forestière de Yoko. Elle s'attend à estimer (prédire) le volume ainsi que la biomasse sur pied.

0.3.2. Objectifs spécifiques

L'étude se penche spécifiquement à:

- ◆ Disposer de tarifs de cubage à une entrée pour les trois essences jugées aussi abondantes à l'échelle de la réserve. Ceci permettrait de prédire le volume sur pied de ces espèces d'arbres ;
- ◆ Estimer la biomasse de ces essences dans la réserve en procédant par la méthode non destructive (méthode indirecte) sur des arbres non abattus;
- ◆ Déterminer les caractéristiques dendrométriques (diamètre à hauteur d'homme, hauteur du fût, hauteur totale) qui influenceraient le volume et la biomasse des arbres;
- ◆ Relever les différences statistiques entre espèces pour le volume et la biomasse des arbres à partir de paramètres -facilement mesurables (diamètre à hauteur de poitrine) en procédant par divers tests statistiques.

0.4. Intérêt du travail

La raison fondamentale des évaluations des ressources forestières est de faciliter la prise de décisions même si l'on peut encore rassembler des informations sur les forêts pour bien d'autres raisons (Thuresson 2002 ; CRPF 2004).

L'intérêt de cette étude réside dans le fait qu'elle ouvre la voie vers une connaissance d'une partie du potentiel forestier aménageable voire exploitable sur pied. Elle mène ainsi à la constitution d'une base de données en ce qui concerne les estimations forestières : tarifs de cubage (volumes fûts) et biomasse pour des fins d'aménagement.

Les tables ou barèmes de cubage qui seront construits sur base des modèles à établir permettront aux utilisateurs (exploitants, chercheurs) de lire directement le volume ou la biomasse lorsqu'ils appliquent des formules mathématiques tant dans le cas des arbres non-abattus (sur pied) qu'abattus. Ils peuvent aussi procéder à des calculs de possibilité forestière pour l'exploitation des surfaces forestières.

Le volume ou la biomasse à l'unité de surface, du fait qu'ils font intervenir les autres mesures sur le terrain sont de bons critères pour caractériser une forêt (Gaudin 1996). Bref, si les tarifs de cubage trouvent un écho auprès des forestiers (chercheurs) c'est en raison du fait que d'une part on peut les relier aux transactions commerciales (des produits forestiers ligneux) et permettent d'autre part, d'évaluer les potentiels forestiers (dans le cadre d'une gestion durable des peuplements forestiers). Ils permettent par ailleurs de passer des effectifs inventoriés aux volumes bruts c'est-à-dire aux volumes des fûts, de la base de l'arbre à une certaine découpe ou au premier gros défaut. (Meriem *et al.* 1998).

La notion de biomasse, quant à elle en se référant à la quantité de carbone emmagasinée dans le bois, est importante pour les études prospectives sur le cycle et la séquestration du carbone à l'échelle des forêts. Ce qui aurait une incidence sur les changements climatiques (FAO 2000).

0.5. Subdivision du travail

Outre l'introduction, ce travail comporte quatre chapitres.

Le premier chapitre parle des généralités sur le milieu d'étude, les tarifs de cubage et de biomasse, les caractéristiques botaniques et technologiques des espèces étudiées et quelques travaux antérieures.

Le deuxième présente le matériel d'étude ainsi que les méthodes de travail.

Le troisième est consacré à la présentation des résultats et enfin le quatrième concerne la discussion des résultats.

Une conclusion et quelques suggestions clôturent en fin ce modeste travail.

PREMIER CHAPITRE : GENERALITES

I.1. Présentation du milieu d'étude

L'étude a été conduite dans la réserve forestière de Yoko à environ 32 kilomètres de la ville de Kisangani sur l'axe routier Kisangani-Ubundu précisément dans les 400 hectares du dispositif permanent mis en place dans le cadre du projet REAFOR.

I.1.1. Situation géographique et administrative

La réserve forestière de Yoko est située dans le district de la Tshopo, dans le territoire d'Ubundu et la collectivité des Bakumu-Mangongo. Elle s'étale sur l'axe routier Kisangani-Ubundu (à gauche) aux points kilométriques 21 à 38.

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 des points kilométriques 21 à 38 (Lomba et Ndjele 1998).

Elle est régie par l'ordonnance loi n° 52/104 du 28/02/1959 du Ministère de l'Environnement et Tourisme (Rapport provincial de l'Environnement, 1989).

La réserve forestière de Yoko 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.

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

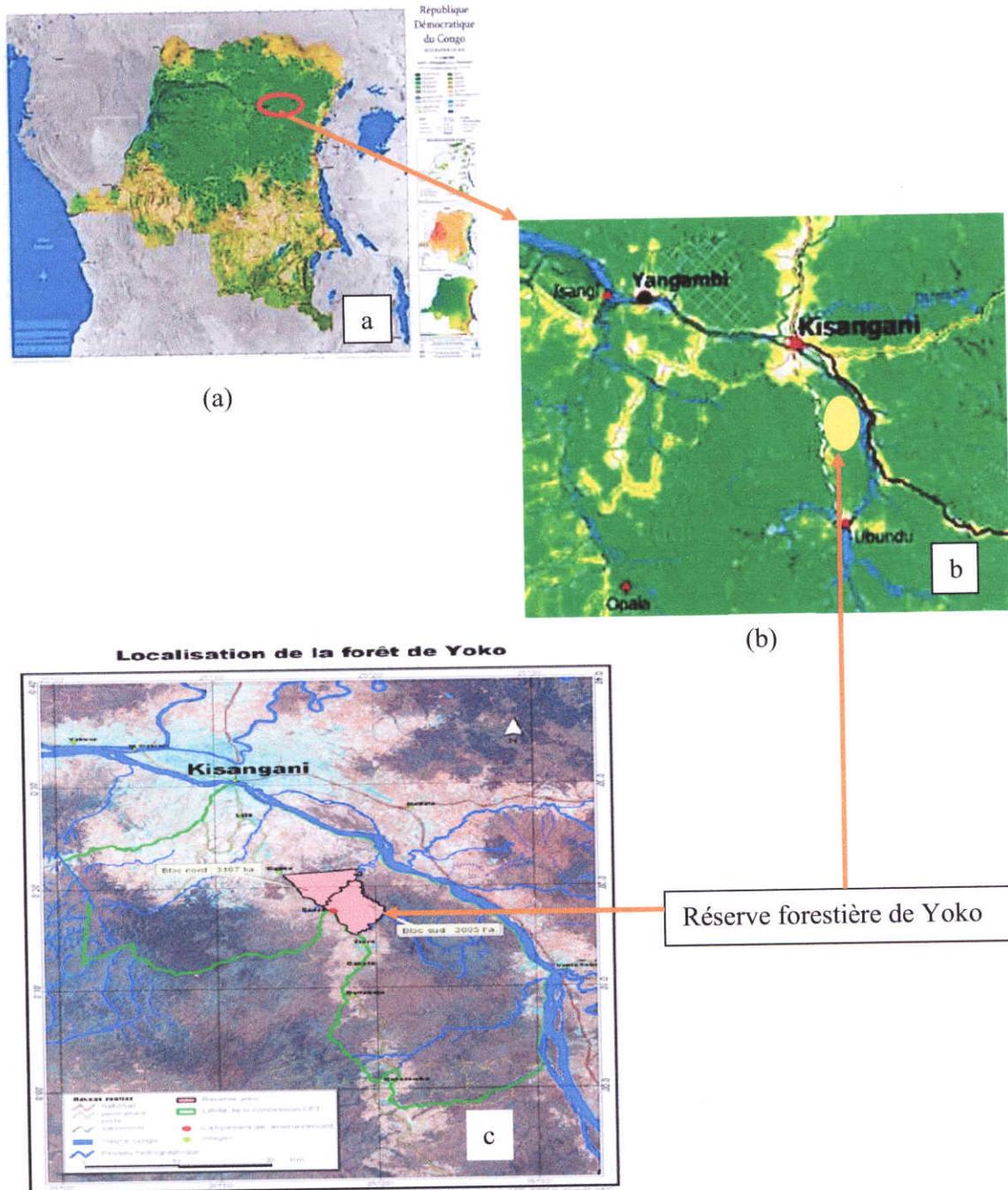


Figure 1: Carte de la RD Congo (a), Ville de Kisangani et localisation de la Réserve forestière de Yoko (en petit cercle jaune (b) ou en gris (c)). (Source : Vancustem, 2006 ; Google earth in Kumba 2008)

I.1.2. Climat

La réserve forestière de la Yoko étant située proche de la ville de Kisangani, nous lui attribuons les caractéristiques climatiques de cette dernière. Néanmoins, de par sa couverture végétale, elle jouirait d'un microclimat particulier.

Située à proximité de l'équateur, la ville de Kisangani, et par extension la réserve forestière de Yoko, jouit d'un climat du type Af selon la classification de Köppen (Lomba 2007).

Ce climat est caractérisé par :

- Des précipitations ayant une moyenne annuelle élevée (1728,4 mm), mais inégalement réparties au cours de l'année (minimum : 1417,5 mm et maximum : 1915,4 mm) et interrompues par deux petites saisons subsèches caractérisées par un fléchissement des précipitations respectivement en décembre-janvier-février et juin-juillet-août (Nshimba, 2008);
- La moyenne des précipitations du mois le plus sec oscille autour de 60 mm (Lomba, 2007) ;
- L'humidité relative moyenne annuelle est également haute, soit 82 % ;
- L'insolation mensuelle en dixième d'heures à Kisangani, varie de 31,5 % à 57 % (Nshimba, 2008) ;
- Les températures moyennes oscillent entre 23,5 °c et 25,3 °c, soit une amplitude thermique annuelle faible de 1,8 °c et la moyenne des températures du mois le plus froid est supérieure à 18 °c. (Lomba, 2007). On observe à Kisangani une mégathermie quasi constante : les températures sont assez élevées et leurs variations peu perceptibles, voire négligeables (Nshimba, op.cit).

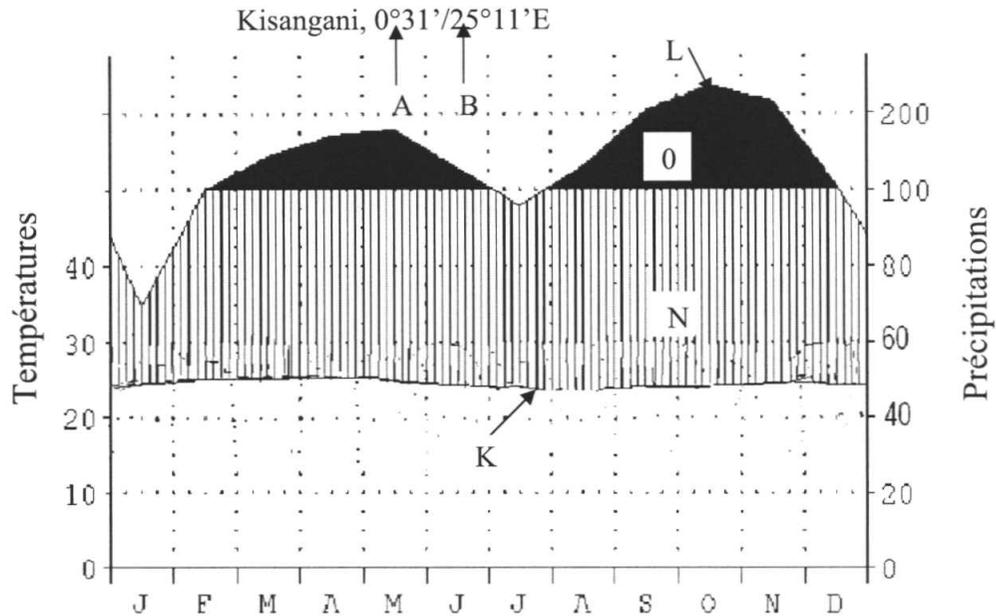


Figure 2 : Diagramme ombrothermique de Kisangani avec les données actuelles (Nshimba 2008).

Légende : (A) Latitude Nord, (B) Longitude Est, (D) Précipitations, (K) Courbe de températures moyennes mensuelles (une division de l'axe = 10°C), (L) Courbe de précipitations moyennes mensuelles (1 division de l'axe = 20 mm et 10°C = 20 mm), (N) Les lignes verticales correspondent à une saison relativement humide, (O) Précipitations moyennes mensuelles supérieures à 100 mm (à ce niveau, l'échelle de l'axe doit être réduite au 1/10).

Du point de vue hydrographie, la réserve est baignée par la rivière Yoko et plusieurs ruisseaux. La Yoko subdivise la réserve en deux grandes parties ou blocs : un bloc nord avec 3 370 ha et un bloc sud avec 3 605 ha, soit une superficie totale de 6 975 ha.

I.1.3. Milieu biotique

I.1.3.1. Aperçu sur la végétation

Deux types principaux de forêts sont définis dans la région de Kisangani par Lebrun & Gilbert (1954) : les forêts denses sur sols hydromorphes et les forêts denses de terre ferme comprenant principalement de forêts denses sempervirentes et des forêts denses semi-décidues.

Les forêts sur sols hydromorphes sont situées principalement le long du réseau hydrographique. Elles résultent de la présence de sols mal drainés et de fréquentes inondations et sont par conséquent économiquement peu intéressantes à cause de leur mauvaise accessibilité. Lebrun & Gilbert (1954) les distinguent en fonction de la richesse du milieu ou de la durée des inondations, en forêt inondable ou inondée périodiquement occupant les banquettes alluvionnaires qui avoisinent les cours d'eau et forêt marécageuse se développant sur des substrats marécageux en permanence contrairement aux formations périodiquement inondées qui sont alternativement inondées puis à sec.

Les forêts sur sols hydromorphes peuvent, dans les meilleures conditions, atteindre 45 m de hauteur. Sa strate supérieure est plus ouverte et plus régulière que celle de la forêt sempervirente de terre ferme. Ces forêts possèdent une flore endémique diversifiée, quoique assez pauvre (*Mytragyna spp*, *Entandrophragma palustre*, *Uapaca spp*, *Guibourtia demeusei*, *Coelocaryon botryoides*, *Raphia spp...*) (Evrard, 1968 cité par Lomba 2007).

Les forêts ombrophiles sempervirentes équatoriales hébergent des essences mégathermes de taille élevée (35 – 45 m de haut), sciaphiles (*Gilbertiodendron dewevrei*, *Julbernardia seretii*, *Brachystegia laurentii*, ...), souvent grégaires, bien distribuées en âge. On note un faible encombrement des strates inférieures par la densité élevée de la canopée empêchant le développement des strates arbustives et herbacées (Pierlot, 1966 ; Vancustem *et al.* 2006). Le gradient de température est très marqué dans la canopée, tandis que l'humidité atmosphérique y est en permanence élevée (White, 1983).

Les forêts denses semi-décidues, contrairement aux forêts denses sempervirentes de terre ferme qui n'existent qu'en îlots épars, occupent la majorité de la cuvette centrale, soit 32% de la superficie de la RDC (Vancustem *et al.*, 2006).

Dans la zone équatoriale, elle devient la formation climacique, floristiquement plus riche que la forêt sempervirente. Sa strate supérieure, à proportion variable d'espèces décidues (jusqu'à 70% des tiges) mélangées à des espèces sempervirentes, montre une distribution en âge irrégulière. La densité de la canopée permet donc le développement d'un sous-étage arbustif continu. La plupart des essences exploitées en RDC (*Meliaceae*, *Milicia excelsa*, *Nauclea diderrichii*, ...) se trouvent dans ce type forestier (Gerard, 1960 ; Evrard, 1968 Cite Par Lomba Op.Cit).

Selon que la réserve de Yoko est subdivisée en deux blocs forestiers, nord et sud, sa végétation est définie comme suit (Lomba et Ndjele, 1998) :

- Le bloc nord fait partie de groupe des forêts mésophiles sempervirentes à *Brachystegia laurentii*, à l'alliance Oxystigmo-Scorodophleion, à l'ordre des Gilbertiodendretalia dewevrei et à la classe des Strombosio-Parinarietea (Lebrun & Gilbert, 1954).
- Le bloc sud appartient au type des forêts mésophiles sempervirentes à *Scorodophloeus zenkeri*, à l'alliance Oxystigmo- Scorodophleion, à l'ordre des Piptadenio-Celtidetalia et à la classe des Strombosio-Parinarietea (Lebrun & Gilbert, 1954).

I.1.3.2. Activités humaines

Il est à signaler que la réserve forestière de Yoko est menacée et souffre d'une pression anthropique importante. Ceci serait dû à sa proximité de la ville de Kisangani, à l'augmentation de la population (explosion démographique) tout autour d'elle qui est à la base de l'augmentation des besoins en produits vivriers bois énergie, bois à usage domestique mais aussi l'instabilité politiques (guerres de libération, rebellions....) suivies des crises économiques qui ont élu domicile dans le pays en général et dans la Province orientale en particulier.

La population urbano-rurale et la population riveraine de la réserve intensifient illégalement sans restriction leurs activités à travers la réserve. Toutefois ces activités ont un caractère artisanal et traditionnel : agriculture d'autosubsistance, chasse et pêche illégales, extraction de bois énergie (charbon de bois), bois de construction, PFNL, etc.

I.1.4. Caractéristiques géologiques et géomorphologiques

La forêt tropicale humide est un écosystème très complexe, caractérisée par une très grande diversité d'espèces arborées sur des sols souvent acides et pauvres en éléments minéraux et en humus (Barigah *et al.* 1997).

Le sol de la réserve forestière de Yoko partant de sa position géographique dans la région de Kisangani présenterait les mêmes caractéristiques reconnues aux sols de la Cuvette Centrale congolaise. Le sol est rouge ocre, avec un faible rapport silice-sesquioxyde de la fraction argileuse, une faible capacité d'échange cationique de la fraction minérale, une teneur en minéraux primaires faibles, une faible activité de l'argile, une faible teneur en éléments solubles et une assez bonne stabilité des agrégats.

Les sols de Kisangani, au même titre que beaucoup d'autres sols tropicaux sont ferralitiques à dominance des sables (Lomba 2007). Ils sont extemeney acides(ph autour de 4,5), à texture sableuse et, pauvres à matières organiques. (Mate 2001) généralement sablo-argileux, acide, renferment de combinaisons à base de sable, pauvre en humus et en éléments assimilables par les 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 (Kumba 2008).

I.2. Tarif de cubage et biomasse

I.2.1. Tarif de cubage

Il existe deux grandes catégories de méthodes pour estimer le volume des arbres sur pied : estimation directe par mesure du défilement (arbres échantillons abattus ou grimpés, analyse des images numérisées) et estimation indirecte par tarifs de cubage. Pour l'estimation indirecte du volume, on peut parler d'un tarif à une entrée, deux ou à trois entrées, tarifs paramétrés, etc.

I.2.1.1. Définition et sortes des tarifs

Un tarif de cubage est un tableau chiffré, une formule ou un graphique (Bouchon, 1974), qui donne une estimation du volume d'un arbre (tarif individuel) ou d'un ensemble d'arbres en fonction de diverses variables facilement mesurables sur l'arbre appelées « entrées » du tarif (ATIBT 2006 ; RONDEUX *et al.* 2008).

Les tarifs de cubage d'arbres donnent, sous forme de tableau, de graphique ou de formule, une estimation du volume moyen d'un arbre ou plutôt, le volume moyen par tige d'un ensemble d'arbres :

- Soit en fonction d'une seule donnée : le diamètre à 1,30 m (ou la circonférence) : ce sont les tarifs à une entrée ;
- Soit en fonction de deux données : diamètre et hauteur le plus souvent; ce sont les tarifs à deux entrées ;
- Soit en fonction de trois données : diamètre, hauteur et coefficient de forme : ce sont des tarifs à trois entrées.
- Soit en fonction d'une ou de deux données individuelles (variable propre à la station et au peuplement) tels que la hauteur moyenne, et de paramètres de peuplements, tels que la décroissance métrique, l'âge ; ce sont les tarifs paramétrés.

L'intérêt général des tarifs de cubage est qu'ils permettent de passer des effectifs inventoriés en inventaire d'aménagement ou en inventaire d'exploitation (effectifs par essence et par classe de diamètres) à des volumes fûts des arbres sur pied, à partir des variables mesurées.

Les tarifs de cubage ne sont applicables que dans la zone d'étude, pour les essences ainsi que les classes de diamètre retenues par l'échantillon d'arbres ayant servi de base de mesures (ATIBT 2006 ; Rondeux 1993; Rondeux et al. 2008). Ceci définit le domaine de validité du tarif.

I.2.2. Tarif de biomasse

Un tarif de biomasse est une équation (ou tableau, graphique) qui permet de prédire la biomasse d'un arbre à partir de caractéristiques dendrométriques faciles à mesurer, comme le diamètre à hauteur d'homme ou la hauteur.

La biomasse est généralement définie comme étant « la masse de matière vivante produite par une population, un peuplement, une communauté ou une biocénose, rapportée à l'unité de surface et exprimée en matière sèche » (Brown 1997, Delpech et al, 1985 cité par Njoukam 1995) à un moment donné, exprimée en kg/ha.

La biomasse épigée est quant à elle la masse de la partie ligneuse (tronc, écorce, branches, brindilles, feuilles, etc.) des arbres, vivants ou morts, des arbustes et des buissons, à l'exclusion de la souche et des racines (Guitet 2007). D'après la FAO (1990) c'est la quantité totale de matière organique aérienne présente dans les arbres exprimée soit en tonnes 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 à un niveau régional ou national.

Dans bien des cas, l'estimation de la biomasse est basée sur le diamètre à hauteur d'homme. Selon les études de Brown (1997) et pour la plupart des forêts ou formations végétales, le diamètre minimum à partir duquel les arbres sont pris en compte dans l'estimation de la biomasse est fixé à 10 cm. Cependant la prise de hauteurs des arbres reste facultative (Brown 1997 ; Kurniatun *et al.* 2001).

I.2.3. Présentation des espèces : Description botanique et technologique

L'étude a porté sur 3 espèces d'arbres à savoir : *Guarea thompsonii*, *Gilbertiodendron dewevrei* et *Scorodophloeus zenkeri*.

Dans ce paragraphe, il s'agit de donner en détails le nom scientifique, la position systématique, nom pilote (ou noms vernaculaires), quelques caractères distinctifs (végétatifs et anatomiques) pour chaque espèce ainsi que leurs usages ou emplois.

Les informations ont été tirées des ouvrages ci-après : (Vivien *et al.* 1985 ; BFT 1978; Tailfer 1989 ; Lejoly *et al.* 1998 ; Wilks *et al.* 2000, Richter *et al.* 2000)

I.2.3.1. *Gilbertiodendron dewevrei*

a. Dénomination botanique

Le nom spécifique est *Gilbertiodendron dewevrei* J. Léonard (syn. *Macrolobium dewevrei* De Wild) de la famille des Fabaceae.

Dans le commerce international on l'appelle Limbali. On parle également de Limbali ou Ditshipi, Ligudu en RD Congo, Ekobem au Cameroun, Vaa en Côte d'Ivoire, Epal ou Bemba au Congo Brazza, Molapa en RCA, Abeum à grandes feuilles, Sehmehe au Liberia, Ekpagoi eze au Nigeria, Mbombi en Sierra Leone et Bembé au Gabon. Statut de protection selon les normes CITES: not protected (Richter *et al.* 2000)

b. Aire de répartition en Afrique tropicale et habitat

L'aire de répartition prend les pays suivants : Nigeria, République Centrafricaine, la RD Congo en passant par le nord-est du Gabon.

C'est une espèce de forêt tropicale dense humide, à tempérament grégaire formant soit des bouquets de quelques pieds soit des peuplements presque purs. Le Gilbertiodendron se trouve parmi les espèces qui donnent les plus beaux arbres. Il se rencontre sur terre ferme dans des forêts denses humides souvent marécageuses ou au bord des cours d'eau.

c. Port général

C'est un arbre de grande taille pouvant atteindre 30 à 45 m de hauteur.

La base du fût ne comporte ni contreforts, ni empâtements, parfois seulement un léger épaississement à la base du tronc.

Le fût est droit et cylindrique mais fréquemment branchu assez bas, il peut atteindre une hauteur de 20 m et un diamètre de 3 m

Le houppier est peu développé, à feuillage dense vert foncé pendant, à jeunes pousses et feuilles rouge vif ;

L'écorce jaunâtre (1 cm) s'exfolie en grandes plaques minces irrégulières laissant apparaître des nombreuses lenticelles brunes ; tranche dure, fibreuse et brun rouge ;

L'aubier de couleur blanc à brun rose clair est bien différencié, son épaisseur varie entre 5 et 10 cm;

Les feuilles sont alternes (persistantes), composées paripennées avec 3 paires (parfois 2-5) de grandes folioles opposées, oblongues ou elliptiques de 10-50 × 5-10 cm, coriaces garnies de quelques glandes noirâtres sur le bord du limbe, 15-20 paires de nervures latérales, stipules lancéolées persistantes munies de 2 oreillettes à la base ;

Les fleurs sont groupées en panicules lâches, axillaires ou terminales veloutés brun ferrugineux.

Les Fruit sont des gousses plates ligneuses (15-30 × 6-9 cm) brunâtres, ridées transversalement, avec un des bords marqué d'une côte, revêtues des poils denses très courts ; contenant 4 à 6 graines plates mesurant de 4 à 5 cm de diamètre.

d. Propriétés physiques et mécaniques

Le bois est mi-lourd à lourd, mi-dur à dur et de couleur brun à rouge (copper-brown), sans veines. Couleur de l'aubier différente du bois de cœur. Odeur absente. (Aubreville; Richter & Dallwitz 2000).

Sa masse volumique est de 730 à 880 kg/m³ soit une moyenne de 815 kg/m³ (BFT 1978). À l'état vert le poids volumique peut atteindre de 1000 à 1200 kg/m³ (Aubreville et al 1995). La densité basale à l'état sec de 0,66 à 0,85 g/cm³ (Richter & Dallwitz 2000); 0,65 g/cm³ (Reyes et al. 1992).

Le bois de limbali est peu fissile, élastique, très bonne résistance naturelle aux contraintes (chocs, compression, flexion, etc.), aux insectes et champignons, de séchage lent, etc.

Le point de saturation des fibres du Gilbertiodendron se situe à 26 % et la rétractibilité volumique totale est de 13,9 % alors que la rétractibilité volumique tangentielle est de 9 %. Sa rétractibilité radiale est de 4,7 %.

e. Utilisations

Compte tenu de son abondance exceptionnelle dans certaines régions, le limbali pourra dans l'avenir offrir des possibilités d'approvisionnement régulier et donner lieu à des courants d'exportation importants. Ses bonnes résistances mécaniques et sa durabilité naturelle lui assurent une large gamme d'utilisations : constructions diverses (maisons, navales), menuiseries diverses

I.2.3.2. *Guarea thompsonii*

a. Denominations:

Son nom spécifique est *Guarea thompsonii* Sprague & Hutch.

Dans le commerce international on l'appelle Bossé foncé ou Bossé.

On l'appelle Mutigabnaye, Nougouatan en Cote d'Ivoire ; Ikoudwerere, N'kisiko au Gabon ; Obobo-nekwi au Nigéria ; Diambi en Allemagne, Belgique et Hollande ; Black Guarea en Angleterre ou de Diambi, Bossé foncé en République Démocratique du Congo.

b. Aire de répartition en Afrique tropicale et habitat

L'aire de répartition s'étend du Liberia au Zaïre (RDC) (Vivien et *al.* 1985 ; BFT 1978), il est moins abondant dans les forêts d'Afrique de l'ouest.

C'est une essence des forêts denses africaines, on le rencontre en forêt dense sempervirente et également en forêt semi-décidue surtout dans les zones de transition avec les forêts sempervirentes.

c. Description de l'espèce

L'espèce appartient à la famille des Meliaceae, ordre des Sapindales.

C'est un arbre de grande taille, cylindrique dès la base ou avec empattements formant des lobes peu profonds et pouvant mesurer jusqu'à 1 m voire plus. ;

Le fût élancé, droit et cylindrique peut atteindre 20 m de hauteur et 1,20 m voire 1,50 m de diamètre donnant ainsi de 12 à 18 m de bois dont le diamètre est se situe entre 60 et 100 cm. La cime est globuleuse, dense. Les branches maîtresses sont ascendantes et tordues.

L'écorce, épaisse de 0,5 à 1 cm se desquame en plaques allongées de 2 à 4 cm. La tranche est granuleuse, jaunâtre, un peu odorante et exsude un latex laiteux blanc. Le rhytidome est brun-gris cendré.

Le houppier est très feuillu, à feuilles non groupées en étoiles à l'extrémité des branches ;

Aubier : bien différencié, blanchâtre, épaisseur variable entre 5-10 cm;

Bois : Bois de cœur rouge à brun, jaune à brun-rouge, sans veines. Couleur de l'aubier différente du bois de cœur.

Feuilles : Persistantes, alternes, composées pennées à 3-6 paires de folioles opposées (8-20 × 3-7 cm), plus une foliole terminale, sans réseau de nervures visibles.

Fruit : Capsules globuleuses, d'environ 3 à 4 cm de diamètre, lisses, glabres, parfois rugueuses, gris orangé parfois rose violet, ou violet rougeâtre s'ouvrant par 2-4 valves, contenant 2 à 8 graines par capsule ; arille orangé.

d. Propriétés physiques et mécaniques

Le *Guarea thompsonii* est un bois léger à mi-lourd, mi-dur à dur. Ses retraits linéaires transversaux sont faibles à moyens. Son retrait volumique est moyen et ses caractéristiques mécaniques sont moyennes.

Les principales caractéristiques technologiques sont :

- Densité basale de 0,52–0,55–0,65 g/cm³ ; mi-dur, moyennement nerveux (Aubreville & Richter & Dallwitz 2000)
- Masse volumique à l'état sec* : de 600 à 700 kg/m³
- Point de saturation des fibres : 29 %
- Retrait volumique total : 12,4 %
- Retrait tangentiel total : 6,8 %
- Retrait radial total : 4,1 %
- Sensibilité aux variations d'humidité de l'air : faible
- Stabilité en service : bonne
- Contrainte de rupture en compression parallèle* : 59 MPa
- Contrainte de rupture en flexion statique* : 115 MPa
- Module d'élasticité longitudinal* : 10 800 MPa

N.B: Les valeurs précédées d'un astérisque correspondent à un taux d'humidité du bois de 12 % (norme française NF B 51-002).

Son bois est assez fissile, élastique, Le bois se peint et se vernit sans difficulté mais l'exsudation de résine sous les produits de finition peut provoquer l'apparition de taches.

Le Bossé se déroule et se tranche sans difficulté, et fournit des placages utilisés en ébénisterie, en décoration et en ameublement.

Le Bossé sèche facilement et rapidement. Les risques de déformation sont un peu plus élevés que le *Guarea cedrata*. Lors du séchage, la résine contenue dans le bois peut ressortir et altérer les états de surface. Le bois s'usine bien et le contrefil n'est pas gênant, mais l'effet abrasif du bois

Le bois se ponce bien mais il est recommandé d'équiper les machines de systèmes d'aspiration efficaces car les poussières dégagées ont parfois une action irritante sur certaines personnes. Il se peint et se vernit sans difficulté mais l'exsudation de résine sous les produits de finition peut provoquer l'apparition de taches.

Les clous, agrafes, chevilles métalliques et vis se fixent sans difficulté et ont une bonne tenue.

En conditions industrielles, des avant-trous sont conseillés pour *Guarea thompsonii* qui est plus dur que les deux autres espèces. Le collage ne présente aucune difficulté particulière.

e. Utilisations

Le *Guarea thompsonii* (bossé foncé) possède des bonnes qualités physiques et mécaniques. Il se porte bien au sciage, déroulage, tranchage et se conserve bien. Son contrefil n'est pas gênant. Ses sciages donnent un aspect particulièrement bon.

En général, le bois de *Guarea thompsonii* est un excellent bois de menuiserie extérieure et intérieure. Il peut convenir pour la fabrication de revêtements de façade, de portes d'entrée, de fermetures extérieures, de fenêtres.

Il est aussi employé pour la fabrication de lambris ainsi qu'en agencement intérieur, en ameublement, en ébénisterie et en décoration sous forme massive ou plaquée. Il est utilisé comme l'Acajou pour la construction de bateaux de plaisance. Pour son odeur, il est aussi employé comme le Cedro pour la fabrication de boîtes à cigares.

Par tranchage on obtient des placages d'ébénisterie, par déroulage des contreplaqués. Le seul inconvénient réside dans le fait que ses exsudats peuvent, dans certains cas, persister (au séchage à l'air libre, exposition solaire) et se réduire à des petites taches.

1.2.3.3. *Scorodophloeus zenkeri*

a. Dénominations botaniques et commerciales

Le nom spécifique est *Scorodophloeus Zenkeri Harms.*

Le nom pilote est Divida. En milieu paysan on parle de Bofili (RD Congo).

b. Aire de répartition en Afrique tropicale et habitat

C'est une espèce d'Afrique tropicale, son aire de distribution va du Cameroun, Congo-Brazza, Gabon au Zaïre (RDC). C'est un arbre des forêts dense semi-decidue, très abondant par endroit et hemihéliophile.

a. Description de l'espèce

L'espèce appartient à la famille des Fabaceae dans le genre *Scorodophloeus*.

Le genre est composé de deux espèces tropicales: *Scorodophloeus zenkeri* et *Scorodophloeus fischeri*.

C'est un grand arbre à feuillage sempervirent pouvant atteindre 30 m de haut. Son cime est hémisphérique et clair. Le fût est plus ou moins droit cylindrique, base cannelée ; il peut atteindre un 15 m de haut et 90 cm de diamètre. La base est légèrement épaissie

L'écorce est gris jaune (1 cm) lisse dans le jeune âge puis écailleuse ; tranche cassante jaune à odeur d'ail, d'où son nom « d'arbre d'ail ».

Le bois du duramen est jaune orange, mi-dur et mi-lourd. L'aubier est peu différencié, blanc assez épais.

Les feuilles de *Scorodophloeus zenkeri* sont alternes imparipennées (parfois paripennées) composées de 10 à 20 folioles subsessiles, alternes parfois opposées. Le limbe est oblong à subrectangulaire, il mesure de 1 cm sur 0,5 à 2 cm, arrondi, obtus ou aigu au sommet, tronqué-cunéiforme et très asymétrique à la base, inséré par un angle sur rachis canaliculé et très légèrement ailé.

Les fruits sont des gousses plates, lisses, mesurant de 7,5 à 13 sur 3-5 cm, terminées par une pointe, à un bord légèrement épaissi.

La gousse renferme 1-2 graines brunes, luisantes.

c. Propriétés physiques et mécaniques

Sa densité basale varie de 0,68 à 0,95 (Vivien et Faure 1985 ; Reyes et al. 2000). Par conséquent le *Divida* est qualifié de mi-lourd. Cependant, les essais de Tunguni en 1977 effectués sur deux échantillons à Yangambi indiquent que la densité des variations allant de 0,90 à 0,93.

La variabilité de la densité impliquerait celle de caractéristiques mécaniques et technologiques. Par ailleurs on qualifie le *Scorodophloeus zenkeri* d'un bois dur, assez élastique et nerveux.

d. Utilisations

Le bois de *Scorodophloeus zenkeri* peut être utilisé après sciage pour les charpentes, il est plus utilisé en construction comme bois de coffrage.

Les feuilles et les écorces, du fait de leur odeur d'ail sont traditionnellement employées comme condiment et dans la phytothérapie en milieu forestier.

1.2.3.4. Choix des essences

À titre de rappel, l'étude porte sur trois espèces d'arbres (*Guarea thompsonii*, *Gilbertiodendron dewevrei*, *Scorodophloeus zenkeri*). Ces espèces ont été choisies en raison de l'importance économique, la biologie et de l'abondance spécifique.

◆ Importance économique

De par leur caractéristique anatomique et leur disponibilité dans nos forêts, ces trois espèces (notamment *Gilbertiodendron dewevrei*) fournissent le gros du bois d'œuvre pour le marché local. Elles sont recherchées dans la construction (cas du Limbali pour les charpentes, ponts,...), les meubles (rarement *Guarea thompsonii* (Bossé foncé)), comme bois de coffrage, (cas du *Divida*).

Selon la classification des bois commerciaux, le Bossé foncé ainsi que le Limbali appartiennent à la classe II. Seul le *Scorodophloeus zenkeri*, peu recherché, il appartient à la classe III.

Elles donnent dans la plupart des cas de longs fûts, droits et cylindriques. Les feuilles et les écorces de *Scorodophloeus zenkeri* sont traditionnellement utilisées comme condiment et médicament en milieu paysan.

◆ **Phytosociologie**

On se rappellera que la forêt de Yoko est une forêt mixte. Du point de vue phytosociologie ces trois espèces appartiennent à la classe des *Strombosio-Parinarietea avec Strombosia scheffleri* et *Parinari holstii* et l'ordre: *Gilbertiodendretalia dewevrei* (nommé ainsi d'après *Gilbertiodendron dewevrei* - synonyme *Macrolobium dewevrei*) soit les forêts ombrophiles équatoriales sempervirentes (Lejoly 2008).

Ces groupements manifestent quelques caractères physiologiques ou synécologiques propres, que l'on peut synthétiser comme suit:

- Essences nettement mégathermes, de taille élevée dans la strate supérieure (35-45 m).
- Les espèces dominantes sont des essences d'ombre typiques, à caractère souvent grégaire, faible pouvoir de dissémination des diaspores, généralement lourdes, des principales essences constituantes.
- Atténuation micro climatique de l'incidence de périodes de fléchissement des pluies (régime subéquatorial).

Ceci fait croire que ces espèces seraient moins compétitives et s'adapteraient mieux aux conditions écoclimatiques et surtout au substrat (sol relativement pauvres). On se rappellera ensuite qu'au pourtour immédiat de la Cuvette apparaissent des sols juvéniles, dérivés de sables éoliens, trop pauvres ou trop récents, trop souvent défrichés aussi, pour supporter la forêt-climax (Lejoly, 2008).

◆ **Abondance spécifique**

D'après les résultats du rapport de pré-inventaire des 400 hectares du dispositif de la Yoko, les trois espèces *Scorodophloeus zenkeri*, *Gilbertiodendron dewevrei*, *Guarea thompsonii* figurent sur la liste des 24 espèces prioritaires. En nombre, elles viennent respectivement en première, quatrième et cinquième position soit 22,725 ; 5,69 et 4,505 pieds à l'hectare.

De par les effectifs par espèce on a également plus de chances de couvrir les différentes classes de diamètre (tel que prévu au point 2.31) pour en réaliser des tarifs de cubage.

En plus de l'abondance spécifique, leur choix tient au le fait que plusieurs études sur leur répartition spatiale, leur anatomie, leur régénération, leur séquestration du carbone et leurs tarifs de cubage étaient en cours ou avaient été entreprises.

I.2.4. Quelques études réalisées

D'une manière générale, les forêts de la République Démocratique du Congo dont particulièrement celles de la Province orientale sont peu connues (Batsielili, 2008).

En ce qui concerne le cubage des bois sur pied, plusieurs études similaires ont déjà été faites. Certains se rapportent à l'aménagement forestier et d'autres par contre à l'exploitation des bois d'œuvre.

En R D Congo, dans les forêts naturelles, Mabiala et *al* (1981) ont établi des tarifs de cubages pour plusieurs espèces dans le cadre des inventaires nationaux.

Lokombe en 2004, a travaillé sur les caractéristiques dendrométriques et stratégies d'aménagement des forêts denses humides en *Gilbertiodendron dewevrei* dans la région de Bengamisa. Il a établi des tarifs pour cette espèce en forêt monodominant à *Gilbertiodendron dewevrei*. En ce qui concerne la réserve forestière de Yoko particulièrement, d'autres travaux basés sur l'élaboration des tarifs de cubage ont été conduits sous la supervision de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université de Kisangani. On voit notamment ceux de Kahindo (2006) et Kambale (2006) sur *Funtumia africana* et *Gilletiodendron kisantuense*, etc.

En dehors du pays, en Afrique de l'ouest, les travaux de cubage datent de longtemps, à savoir l'élaboration des tarifs de cubage pour *Isobertia doka* et pour *Pterocarpus erinaceus* par Louppe et *al* (1994), Rondeux et *al.* (1998) sur l'aulne glutineux (en Belgique), etc.

Quant à la biomasse, peu d'informations sont disponibles pour les forêts tropicales africaines (Chave et *al.* 2005).

La plupart de travaux sur le stockage du carbone ont été menés en Amazonie et en Asie. En Afrique centrale, des travaux sur les stocks de biomasse ont toutefois été réalisés dans des plantations (Saint-André et *al.*, 2005 ; Bernhard-Reversat et *al.*, 1993 ; Deans et *al.*, 1996 ;

Onyekwelu, 2004, 2007) et dans des formations agroforestières (Harmand, 2004 ; Kotto-Same et al., 1997, 2002 ; Palm et al., 2005).

Dans les zones sèches d'Afrique, c'est-à-dire au Sahel dans l'hémisphère nord et dans les forêts à miombo dans l'hémisphère sud, la problématique bois énergie est ancienne et de nombreuses études sur la biomasse (qui est le paramètre le plus important pour le bois de feu) des arbres ont été menées (Poupon, 1980 ; Fuwape et al., 2001 ; Gourlay, 1996 ; Tietema, 1993).

Il convient de signaler qu'un certain nombre de travaux sont en cours pour connaître la diversité biologique, la répartition spatiale, la régénération des espèces exploitables et prioritaires dans le cadre du projet REAFOR dans les forêts de Kisangani dont fait partie la Réserve forestière de Yoko (site pilote de la recherche forestière).

CHAPITRE DEUXIEME : MATERIEL ET METHODES

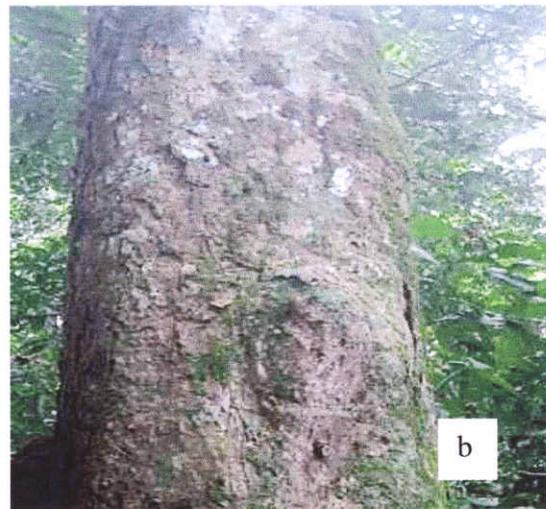
II.1. Matériel biologique

Notre matériel biologique était constitué d'un nombre donné d'arbres de nos trois espèces à savoir : *Guarea thompsonii*, *Gilbertiodendron dewevrei* et *Scorodophloeus zenkeri*.

La figure ci-dessous montre la présentation des fûts des arbres de ces espèces.



Guarea thompsonii (bossé foncé)



Gilbertiodendron dewevrei (limbali)



Scorodophloeus zenkeri (divida)

Figure 3 : (a, b et c). Conformation des fûts de trois espèces étudiées

L'échantillon était relativement variable en fonction de l'espèce. Il était constitué de 150 pieds de *Guarea thompsonii*; 166 pieds de *Gilbertiodendron dewevrei* et 143 pieds de *Scorodophloeus zenkeri*.

Comme instruments, nous nous sommes servis d'un(e):

- Relascope de Bitterlich à bandes larges pour mesurer les diamètres (diamètre à hauteur de poitrine, diamètre au fin bout (dfb) et les hauteurs (hauteur du fût et hauteur totale). Parfois un ruban circonférentiel pour mesurer les circonférences à 1,30 m du sol que l'on pouvait transformer en diamètre par : $Diam = Circ/3,14$
- GPS et boussole pour mesurer les coordonnées géographiques, l'orientation des transects ou layons;
- Télémètre (marque LeicaDisto) ou pentadécamètre pour prendre les mesures linéaires, coordonnées x et y, voire la hauteur des arbres de petit diamètre.

II.2. Méthodologie de travail

II.2.1. Récolte des données

La zone d'étude dans la quelle s'est réalisé la récolte de nos données est le dispositif permanent (400 hectares) de Yoko.

Le dispositif comporte deux blocs rectangulaires de 200 ha chacun (soit 400 ha au total). Les deux blocs sont contigus et dénommés « bloc nord » et « bloc sud ». Le bloc nord a une orientation nord-sud tandis que le bloc sud a une orientation est-ouest. Le système des coordonnées spatiales adopté utilise un axe x qui correspond à la longitude et un axe y qui correspond à la latitude.

Dans un référentiel basé sur le coin inférieur gauche du bloc, le bloc nord a des valeurs de x allant de 0 à 1000 m et des valeurs de y allant de 0 à 2000 m tandis que le bloc sud a des valeurs de x allant de 0 à 2000 m et des valeurs de y allant de 0 à 1000 m. Chaque bloc est ainsi divisé en 200 parcelles de 200 m x 50 m (soit 1 ha). Celles-ci sont toujours orientées nord-sud (en forme de rectangle).

Les coordonnées GPS de ce dispositif sont 0°17.679'N, 25°18.751'E pour son coin sud-ouest et 0°17.845'N, 25°18.909'E pour son coin nord-est.

Pour tous les arbres de plus de 10 cm de diamètre à 1,30 m (dbh) appartenant aux 24 espèces prioritaires du projet REAFOR, on avait déjà procédé à leur identification, positionnement moyennant les coordonnées x et y et mesuré la circonférence ou la classe de diamètre.

Ce sont ces informations qui nous ont orienté dans la prospection des blocs puis le choix de nos arbres échantillons appartenant aux trois espèces de cette étude. (*Gilbertiodendron dewevrei*, *Guarea thompsonii* et *Scorodophloeus zenkeri*). La figure 4 montre la forme du dispositif permanent de 400 ha de Yoko.

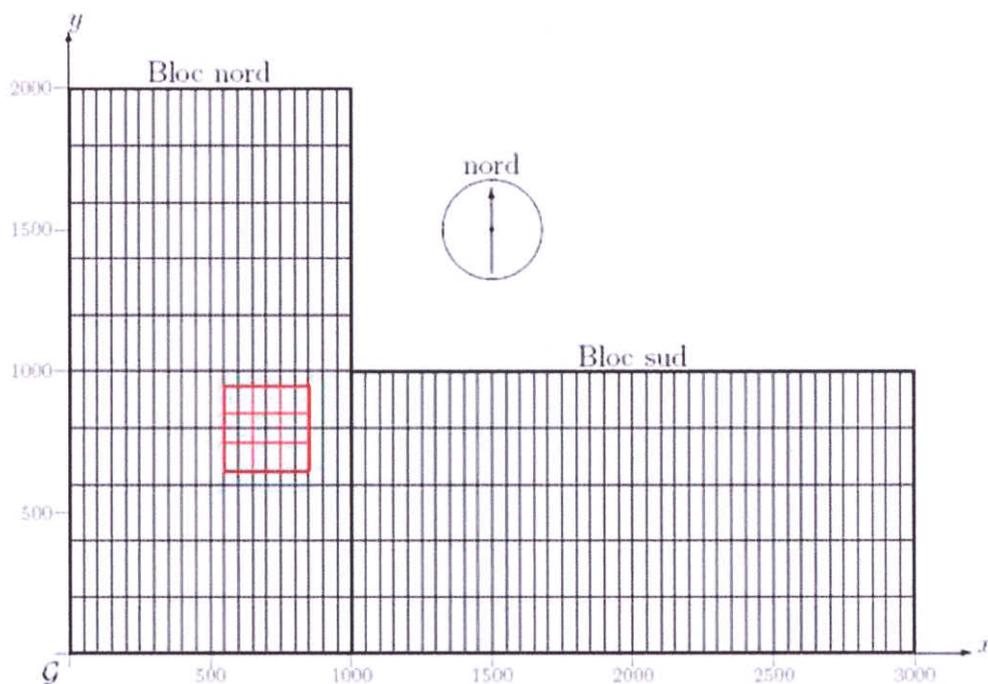


Figure 4 : Schéma du dispositif permanent de 400 ha de Yoko (Picard, 2008).

II.2.1.1. Taille de l'échantillon

En principe, un échantillon variant de 50 à 100 arbres est suffisant pour l'élaboration d'un tarif pour une essence dans une région donnée de manière à atteindre un objectif optimal de 6 à 8 arbres cubés par catégorie de diamètre à partir de 40 cm. Par défaut, le minimum de diamètre devrait être spécifié clairement (FAO 2000) et la taille de l'échantillon devrait être fixée de manière à ce qu'on puisse avoir un même nombre de tiges dans le plus de classes de diamètre possibles (ATIBT, 2006).

II.2.1.2. Choix proprement dit de l'échantillon

Au regard des résultats du rapport de pré-inventaire (Picard, 2008) et à l'issue de la prospection des deux blocs (nord et sud du dispositif permanent), nous avons choisi les arbres-échantillons pour chaque espèce.

Ces derniers étaient répartis dans 9 ou 10 classes de diamètre (ne fonction de l'espèces) en raison de 15 pieds par classe de diamètre soit 10–20 cm, 20–30 cm, 30–40 cm, 40–50 cm, 50–60 cm, 60–70 cm, 70–80 cm, 80-90 cm, ≥ 90 cm (*Scorodophloeus zenkeri*) 90-100cm et ≥ 100 cm (*Guarea thompsonii* et *Gilbertiodendron dewevrei*).

Pour chaque espèce nous avons atteint un effectif d'environ 150 arbres (ou un peu plus). Après cela, nous avons procédé au marquage, positionnement des arbres puis aux diverses mensurations.

II.2.1.3. Type des données récoltées et mensurations

a. Données de cubage

Les paramètres dendrométriques qui nous ont permis de prédire le volume et la biomasse étaient :

- Le diamètre (la circonférence) à hauteur d'homme (1,30 m) ;
- Les diamètres intermédiaires tout les 2 m le long du fût jusqu'à la base du houppier ou la naissance du premier gros défaut ;
- La hauteur du fût (et parfois la hauteur totale).

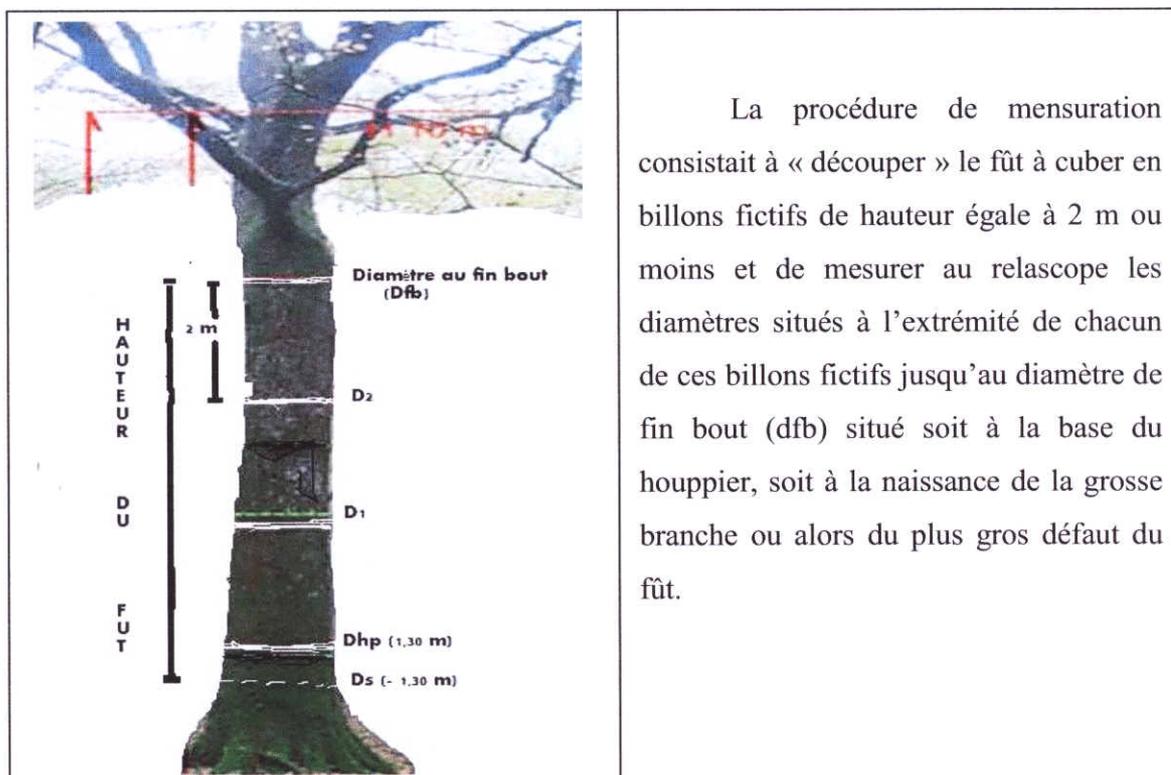
Les diamètres ainsi que la hauteur du fût et la hauteur totale ont été mesurés au relascope de Bitterlich et parfois un ruban circonférentiel pour les petits diamètres.

Le diamètre à hauteur de poitrine était mesuré à une hauteur de 1,30 m au dessus du sol.

Cette hauteur était respectée en utilisant un bâton de 1,30 m de haut. Cependant, pour les arbres qui présentaient des empattements, renflements, bosses à la base, les mesures étaient prises au dessus de leurs défauts de conformation à ± 30 cm tel que prévue par la méthodologie pour les inventaires forestiers (ATBIT, 2006).

Les arbres échantillonnés ont été marqués à la peinture et numérotés (= numéro d'ordre sur le terrain).

La figure ci-dessous illustre de manière générale la technique par laquelle les divers paramètres ont été mesurés sur l'arbre.



La procédure de mensuration consistait à « découper » le fût à cuber en billons fictifs de hauteur égale à 2 m ou moins et de mesurer au relascope les diamètres situés à l'extrémité de chacun de ces billons fictifs jusqu'au diamètre de fin bout (dfb) situé soit à la base du houppier, soit à la naissance de la grosse branche ou alors du plus gros défaut du fût.

Figure 5 : Technique de prise des données de cubage

b. Données de biomasse

La biomasse peut être estimée soit par la méthode directe soit par la méthode indirecte en s'appuyant sur les avantages que présente chacune de deux méthodes (Brown 1997 ; Araujo et al. 1999).

En ce qui nous concerne, elle a été estimée par la méthode non destructive (méthode indirecte). Les arbres-échantillons, les classes de diamètres ou de hauteurs des fûts sont les mêmes que pour le tarif de cubage soit 9 ou 10 classes par espèce. Le diamètre minimum était égal à 10 cm.

II.2.2. Préparation des données

La transformation des données prises au relascope en données réelles (diamètre à hauteur de la poitrine, diamètre à différents niveaux et diamètre fin bout) a été effectuée à l'aide de la formule ci-après : $D = 2 \times Dh(NBl + NBe/4)$

Où D = diamètre

Dh = distance horizontale de l'arbre à la station de prise de mesure

NBl = le nombre de bandes larges

NBe = le nombre de bandes étroites vues et comptées au relascope.

II.2.3. Construction des tarifs de cubage et de biomasse

II.2.3.1. Construction des tarifs de cubage

Selon Rondeux (1998), les différentes étapes du traitement concernent le calcul des volumes individuels des arbres à partir des données récoltées sur le terrain, la sélection des équations exprimant le volume ou d'autres variables dépendantes en fonction des variables explicatives les plus pertinentes, l'ajustement de ces équations aux données observées et la construction proprement dite des tarifs de cubage.

a. Calcul des volumes

Les volumes des arbres ont été calculés selon la méthode de cubage par billons successifs à l'aide de la formule de HUBER. Selon plusieurs auteurs, elle est utilisée dans la majorité des cas pour des billons successifs de ± 2 m de long. Ceci réduirait radicalement les coûts et les efforts d'échantillonnage.

En plus de cela, elle est précise, adaptée pour plusieurs espèces, âges et régions géographiques (Rondeux 1998 ; Massenet 2006).

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

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 $n-1$ ième billon.

b. Ajustement des équations de régression et analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été effectuées avec les logiciels Excel 2007 (notamment pour la transformation des données de terrain) et R (pour les tests statistiques approfondis). Après la transformation des données et le calcul des volumes individuels, nous avons établi la corrélation entre les volumes ou la biomasse et les diamètres à hauteur d'homme.

Nous avons aussi trouvé les coefficients de détermination (R), coefficients de régression (a et b) puis choisi et ajusté les équations de régression aux données de terrain.

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 recherché un modèle de la forme puissance :

$$(1) \quad V = a D^b$$

Où V désigne le volume, D le dhp, et a et b sont les coefficients du modèle. Ce modèle étant non linéaire, et les données présentant habituellement de l'hétéroscédasticité (c'est-à-dire une augmentation de la variance du volume avec le diamètre), la transformation log-log permet de se ramener à une régression linéaire :

$$(2) \quad \text{Log}(V) = a^* + b^* \text{Log}(D)$$

Où « Log » désigne le logarithme népérien.

Il serait possible d'ajuster le modèle (2) séparément pour chaque espèce. Cependant, dans la mesure où les trois espèces obéissent au même type de modèle (cf. la première hypothèse formulée au § 0.2), il est plus judicieux d'ajuster les trois tarifs de cubage en une seule fois, en utilisant une analyse de covariance qui est une analyse de la variance multivariée « MANOVA » :

$$(3) \quad \text{Log}(V_s) = a_s^* + b_s^* \text{Log}(D_s)$$

Où V_s désigne le volume d'un arbre de l'espèce s et D_s désigne le diamètre d'un arbre de l'espèce s .

L'avantage de l'analyse de la variance multivariée « MANOVA » est qu'elle permet de tester si les coefficients a_s^* et b_s^* pour les trois espèces sont ou non différents. Si les coefficients s'avèrent non significativement différents, il est légitime de regrouper les données de différentes espèces, ce qui permet d'améliorer la précision d'estimation des coefficients.

Les données diamétriques et volumiques ont ainsi été transformées par le logarithme, puis le modèle (3) a été ajusté par le modèle linéaire général. La transformation inverse du logarithme, c'est-à-dire l'exponentielle, nous a permis ensuite de retrouver les coefficients a_s et b_s du modèle puissance pour chacune des espèces :

$$a_s = \exp(a_s^*)$$

$$b_s = b_s^*$$

La qualité de l'ajustement du modèle a été évaluée sur la base du coefficient de détermination « R^2 ». Plus il s'approche de 1 plus la qualité de l'ajustement est bonne.

Selon MABIALA *et al.* (1981), un coefficient de détermination supérieur à 0,7 traduit une bonne équation de régression.

Néanmoins, d'autres paramètres statistiques devront intervenir car seul le coefficient R^2 ne suffit pas pour prédire la qualité de l'équation. C'est le cas de l'analyse résiduelle (cf. §2.2.4).

Il est aussi indispensable de signaler que, nous avons dû construire des tarifs de cubage (et de biomasse) à une entrée. Les tarifs de cubage utilisés en aménagement des forêts naturelles sont des tarifs à une entrée qui permettent de déterminer le volume brut 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). C'est ainsi que nous n'avons utilisé que le diamètre à hauteur de la poitrine (dhp) pour la construction des nos tarifs.

II.2.3.2. Etapes de l'élaboration de tarif de biomasse

Les différentes étapes du traitement étaient presque les mêmes que pour le cubage: calcul des biomasses individuelles des arbres en fonction de leur dhp puis l'établissement des équations de biomasse.

La biomasse des fûts était 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 du fût par le BEF ou « Facteur d'expansion de biomasse » (Timothy et al. 2005 ; Eggleston 2006).

Ce facteur d'expansion de la biomasse devrait varier d'une espèce à l'autre.

Cependant, n'ayant pas prélevé des échantillons de bois (méthode non destructive) sur les arbres et surtout pas testé la densité au laboratoire, nous nous sommes servi des constantes des proposées dans les études antérieures pour l'ensemble de forêts tropicales humides, notamment celles qui ont été menées en Amazonie par Brown (1997) et Chave et al. (2005).

C'est ainsi que, nous avons utilisé les densités suivantes : 650 kg/m³ pour le *Gilbertiodendron deweyrei*, 680 kg/m³ pour *Scorodophloeus zenkeri* puis 550 kg/m³ pour *Guarea thompsonii* (Reyes et al. 2000).

Le BEF a également été pris comme une constante. La valeur moyenne du BFE pour les forêts tropicales humides est généralement de 3,4 (Eggleston 2006).

$$\text{Biomasse (fût)} = \text{volume} \times \rho$$

$$\text{Biomasse} = \text{volume du tronc} \times \rho \times \text{BEF}$$

Où ρ désigne la densité et BEF le facteur d'expansion de la biomasse

II.2.4. Analyse résiduelle

Le deuxième paramètre qui nous a servi de prédire la qualité de nos tarifs après le test sur le coefficient de détermination R^2 était le test sur le volume résiduel. En effet l'analyse résiduelle est basée sur la comparaison des résidus des modèles à un seuil de confiance donné. On cherche à avoir une variance qui tend à minimiser la somme de carré des écarts.

La variance résiduelle (σ^2_r) est calculée par la relation suivante :

$$\sigma^2_r = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (V_{obs} - V_{pred})^2$$

Variance résiduelle (σ^2_r) avec V_{obs} = volume calculé pour un arbre donné de diamètre connu D et $V_{prédit}$ = volume estimé par le modèle (soit $Vol = aD^b$). Le model a été linéarisé puis ajusté. Après ajustement le modèle prédit devient : $Vol = a_s + b_s D_i + \epsilon$

CHAPITRE TROISIEME : RESULTATS

Les valeurs calculées pour les volumes et biomasses sont renvoyées en annexe. Pour faciliter la compréhension, seuls les graphiques et résultats de quelques tests statistiques seront repris dans le corps du texte.

À titre de rappel, les classes de diamètres, de hauteurs et les résultats se réfèrent aux arbres-échantillons de plus de 10 cm de diamètre à 1,30 m au-dessus du sol (arbres de dhp ≥ 10 cm)

III.1. Répartition des tiges par classe de hauteur de fût

Les figures 6, 7 et 8 ci-dessous présentent le nombre de tiges (pour les trois espèces) par classe de hauteur du fût (Hf). Les fréquences observées et les valeurs sont reprises en annexe I (b).

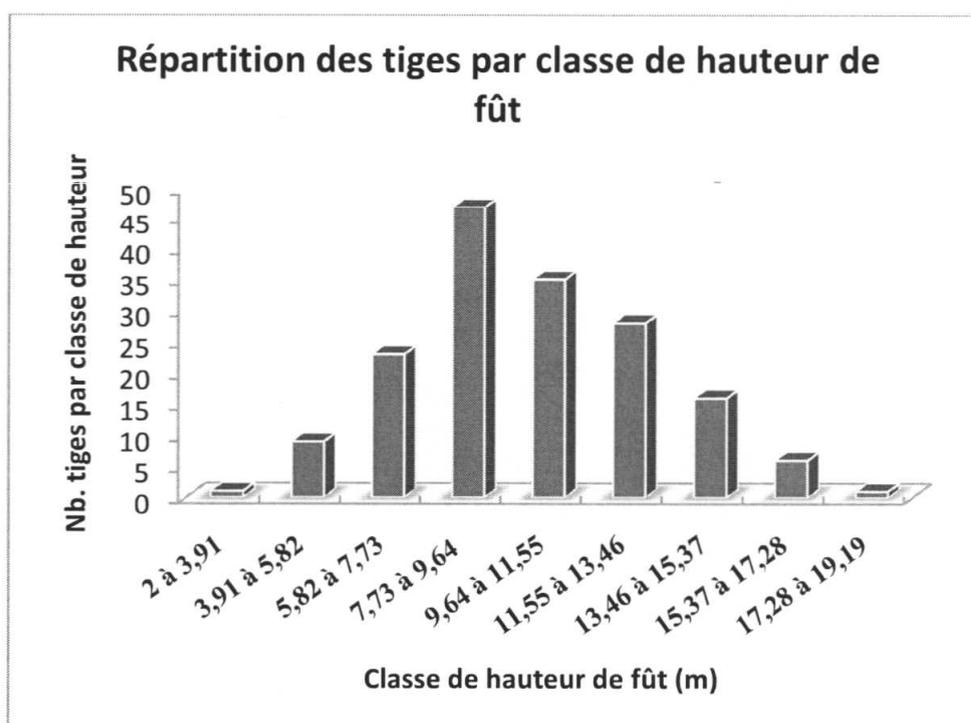


Figure 6 : Répartition des tiges par classe de hauteur de fût de *Gilbertiodendron dewevrei*

Il se dégage de cette figure que la hauteur du fût n'est pas constante; elle varie entre 2 m et 19 m. La plupart de tiges (à peu près 80 %) ont une hauteur située entre 5 et 15 m. Peu des tiges ont moins de 5 m et plus de 15 m. les histogrammes ont l'allure d'une courbe en forme

de cloche. La classe de 7,73 à 9,64 m correspond au pic de l'histogramme et représente environ 28 % du nombre total des arbres échantillonnés (cf. annexe I(b)).

La figure 7 ci-après présente le nombre de tiges observées en fonction de leurs classes de hauteurs pour l'espèce *Scorodophloeus zenkeri* (divida).

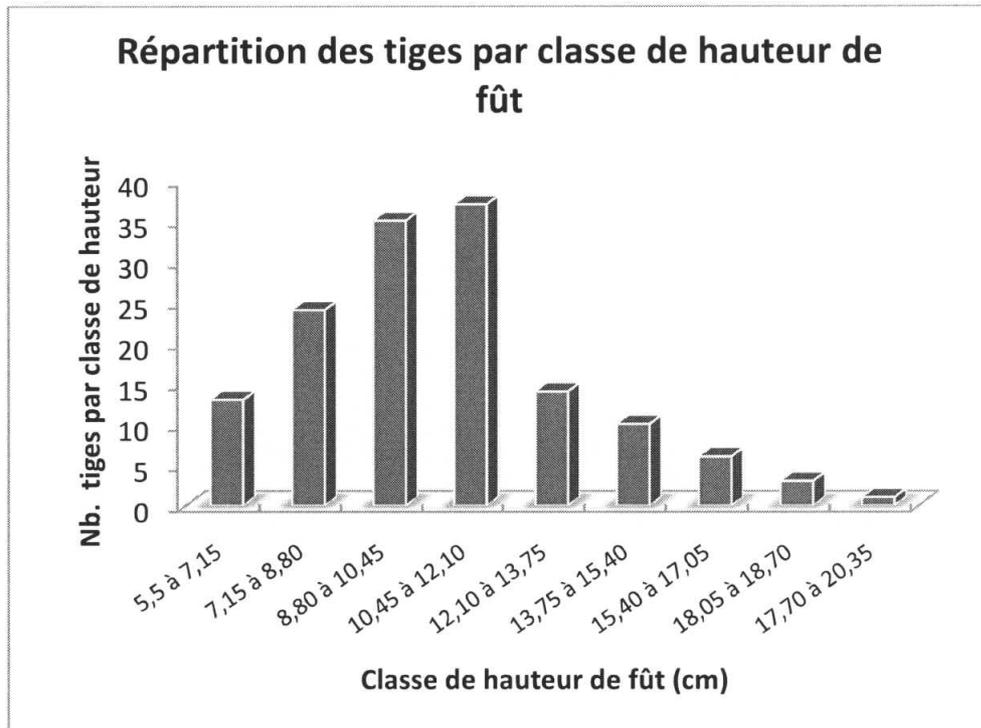


Figure 7 : Répartition des tiges par classe de hauteur de fût de *Scorodophloeus zenkeri*.

Il ressort de cette figure que pour l'espèce *Scorodophloeus zenkeri* les fûts sont plus hauts et leur hauteur varie de 5,5 m à plus ou moins 17 m.

Toutefois, 133 sur 143 arbres échantillonnés (soit 93 %) ont une hauteur située entre 7 et 15 m. Peu de tiges (environ 7 %) ont plus de 15 m. La classe 3 (soit celle allant de 8,8 à 10,45 m) correspond au pic de l'histogramme. Ceci se justifie par le fait qu'en générale l'espèce a des tiges qui semblent effilées (avec un diamètre réduit) mais élancées. Elles s'allongent en hauteur plus qu'elles grossissent en diamètre.

La figure 8 présente le nombre de tiges observées en fonction de leurs classes de hauteurs pour l'espèce *Guarea thompsonii*

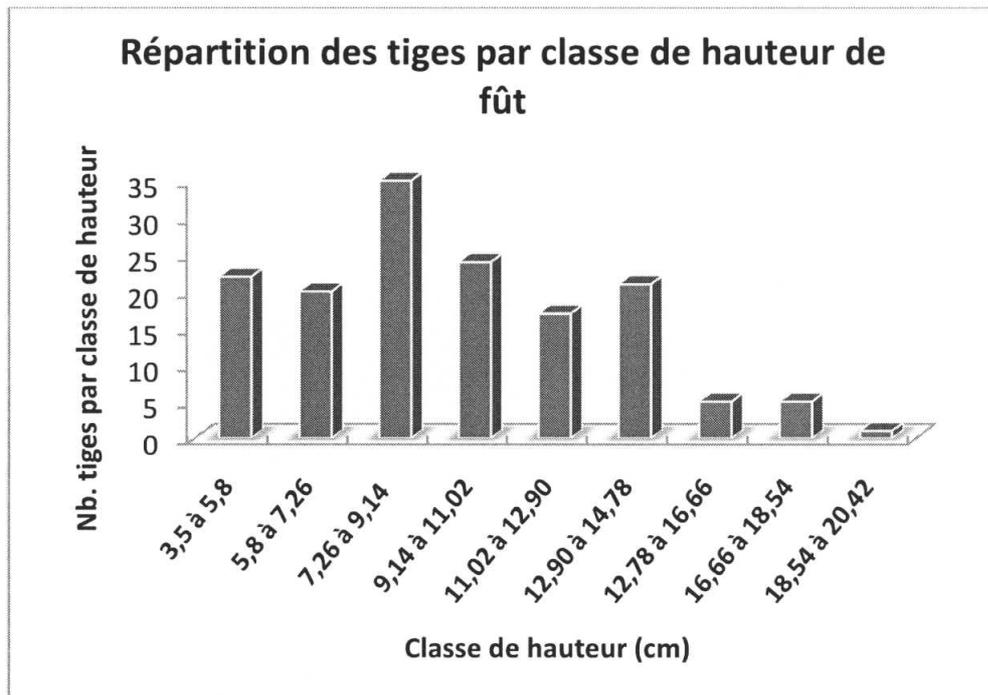


Figure 8 : Répartition des tiges par classe de hauteur de fût de *Guarea thompsonii*

En examinant cette figure on constate également que la hauteur du fût n'est pas constante, elle varie de 3,5 à 19 m. Les arbres ont pour la plupart une hauteur de fût allant de 5 à 13 m. Très peu de tiges ont moins de 5 m et plus de 13 m de haut.

Les tiges de *Guarea thompsonii* sont relativement moins élancées, plus ou moins sinueuses et branchues assez bas et présentent une grande variabilité dans leur diamètre ainsi que la longueur du fût. la plupart ont une longueur de fût médiocre.

III.2. Présentation des volumes et modèles de régression

III.2.1. Volumes par espèce

La figure 9 présente les volumes des fûts de trois espèces en fonction du diamètre à hauteur de poitrine (dhp).

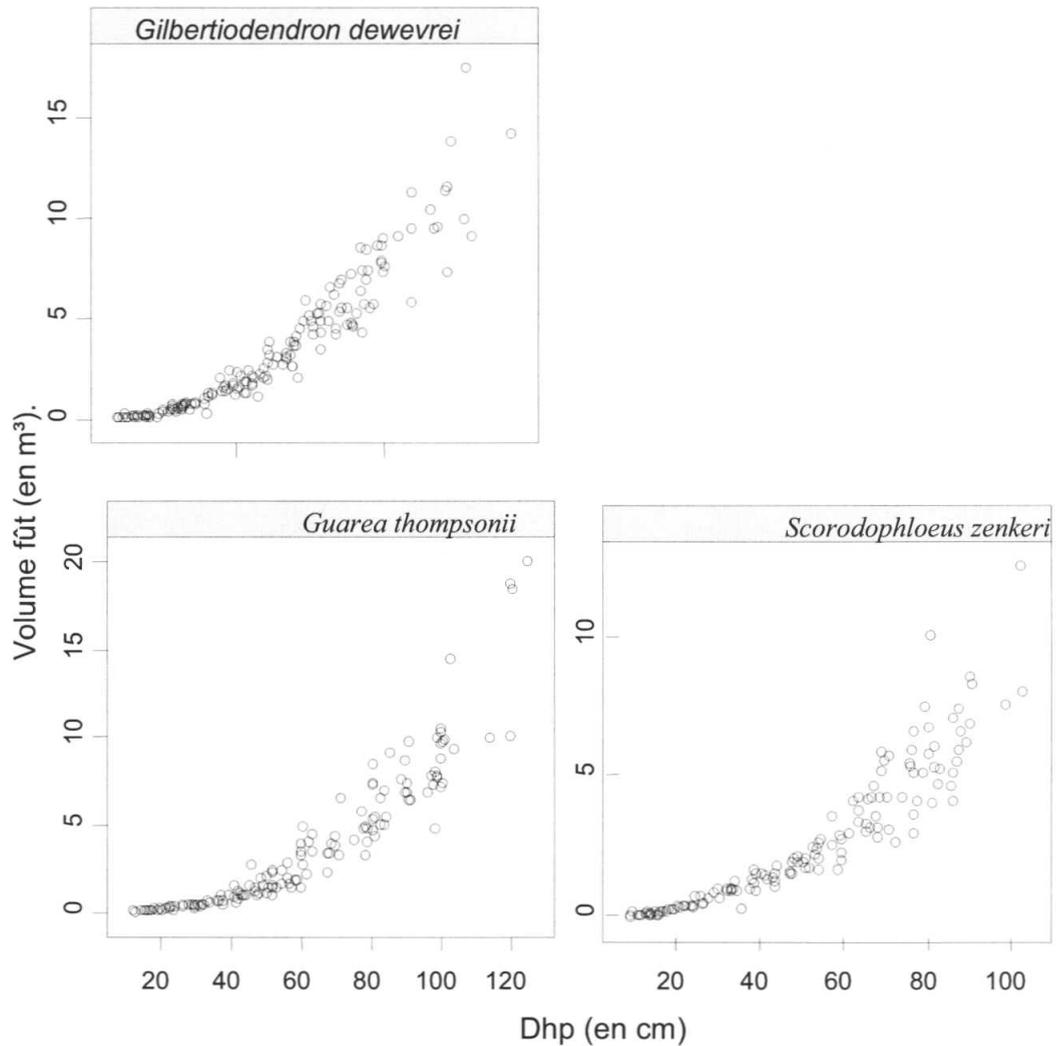


Figure 9 : Graphiques des volumes des fûts par espèce en fonction du dhp

Il se dégage de cette figure que le volume pour les trois espèces varie de façon non linéaire en fonction du diamètre à hauteur de la poitrine d'homme (dhp). On observe également l'hétéroscédasticité et la variance du volume augmente également avec le diamètre. La transformation log-log permet de régler simultanément ces deux problèmes (non linéarité de la relation entre le volume et le diamètre et hétéroscédasticité). Elle stabilise ainsi la variance et rend la relation linéaire, justifiant ainsi l'usage du modèle linéaire (3).

Le volume maximum pour les trois espèces diffère.

Il se dégage également que pour l'espèce *Guarea thompsonii* le volume du plus gros arbre (120 cm au dhp) serait estimé à environ 20 m³ tandis que pour le *Gilbertiodendron dewevrei* le plus gros arbre (de même grosseur environ 120 cm au dhp) aurait environ 18 m³. Pour le

Scorodophloeus zenkeri le volume maximum du fût est environ 15 m³ pour un maximum de dhp de 100 cm.

Ceci se justifie par le fait que les tiges de *Guarea thompsonii* et *Gilbertiodendron dewevrei* sont élancés et ont naturellement des fûts de gros diamètre tandis que celles de *Scorodophloeus zenkeri* ont des diamètres relativement réduits bien que élancées.

III.2.2. Biomasse des fûts

La figure 10 présente la biomasse du fût des trois espèces en fonction du diamètre (dhp). Comme la biomasse se déduit du volume du fût par multiplication de ce dernier par la densité qui est une constante, il se dégage également que l'allure des nuages de points soit exactement la même que celle du volume sauf que les unités changent (m³ en kg).

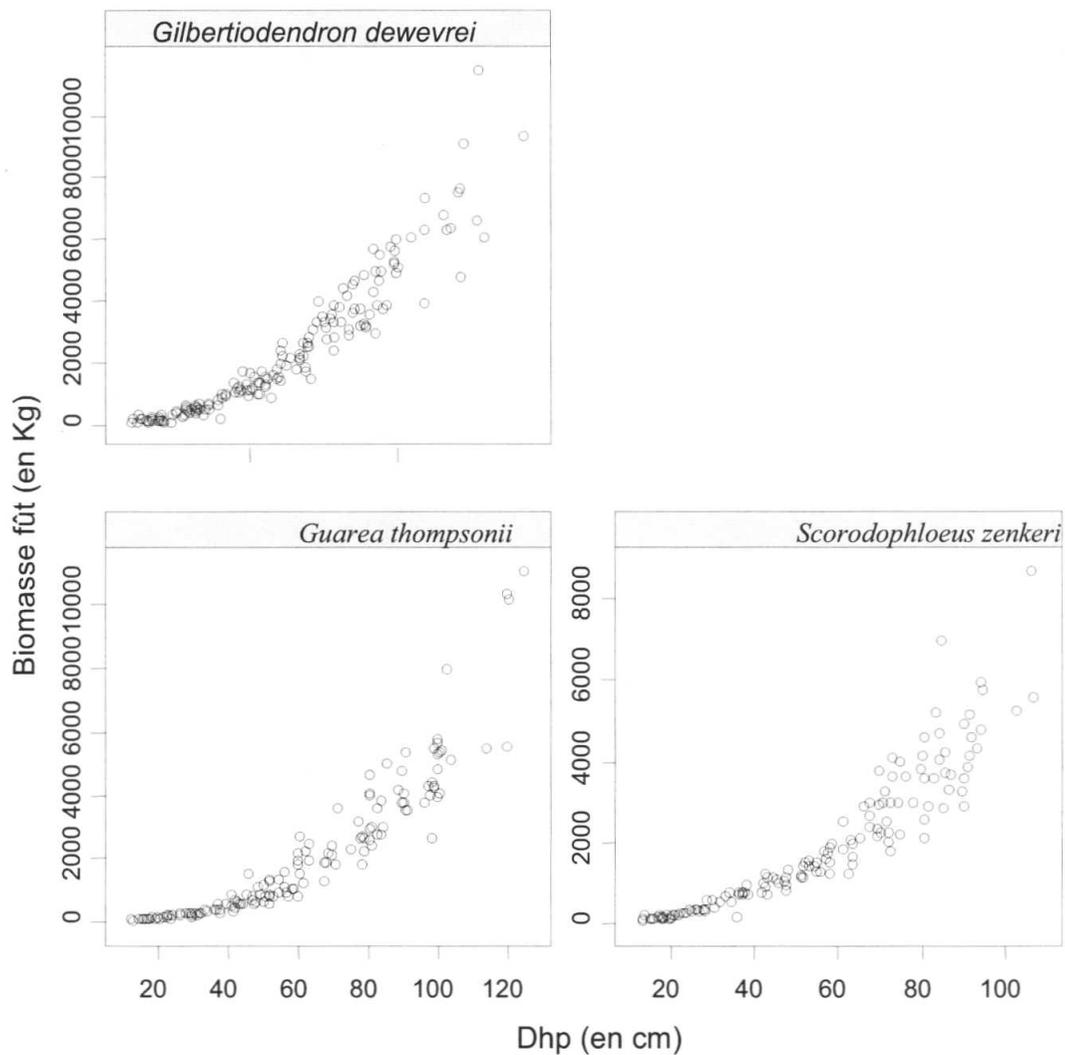


Figure 10 : Graphique des biomasses des fûts par espèce en fonction de dhp

Ce graphique relatif à la biomasse du fût révèle également que la biomasse du fût n'est pas proportionnelle au diamètre en hauteur de la poitrine et on voit l'hétéroscédasticité. Étant donné que la biomasse était calculée en multipliant le volume du fût par la densité (une constante) on constate qu'elle est proportionnelle au volume du fût et non au dhp. La biomasse du fût augmente proportionnellement avec le volume du fût.

III.2.3. Biomasse totale

La figure 11 montre l'évolution de la biomasse totale des tiges pour les trois espèces en fonction du diamètre.

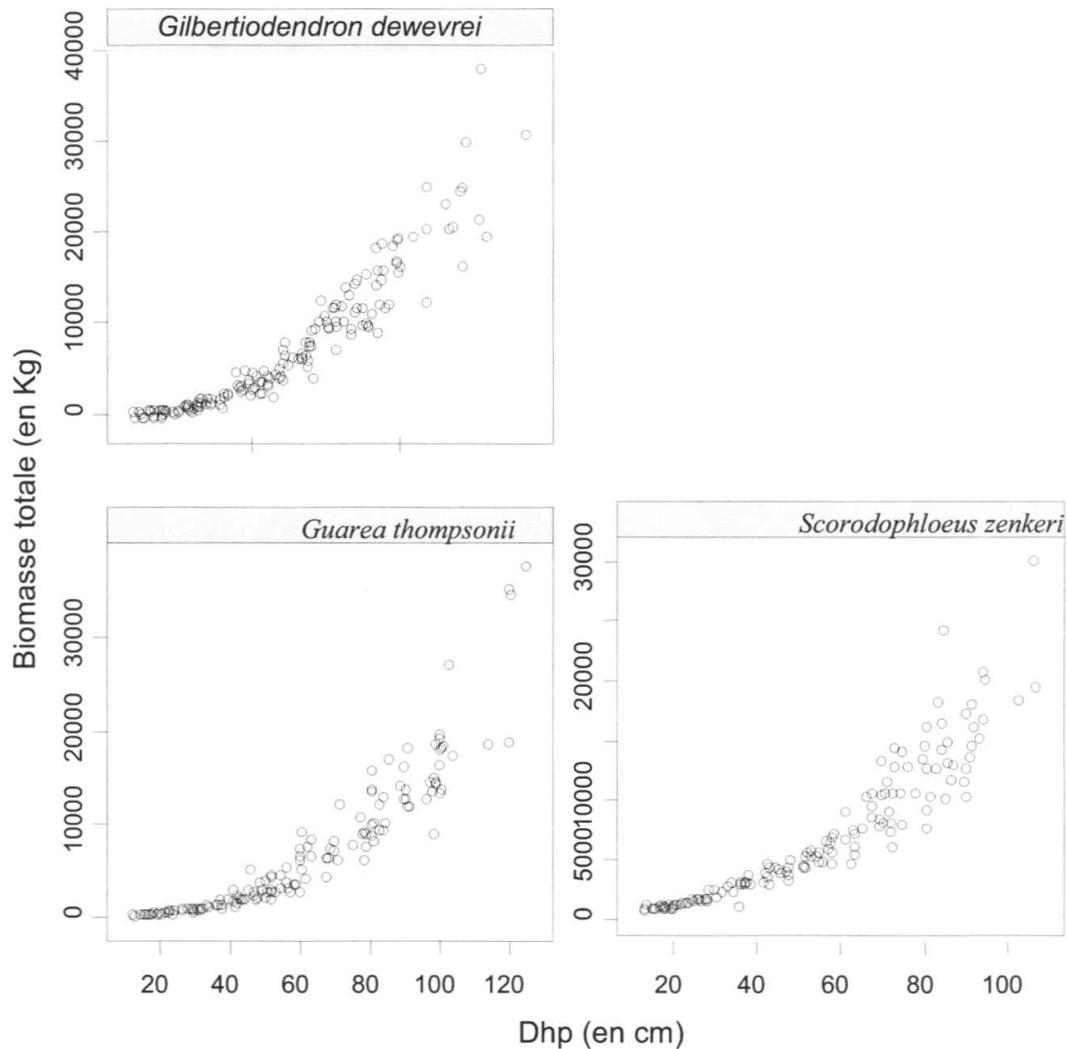


Figure 11 : Graphique des biomasses totales par espèce en fonction de dhp

La biomasse totale étant le produit de la biomasse du fût par le Facteur d'Expansion de la Biomasse (également une constante), l'allure des nuages de points ne change presque pas. Seules les quantités sur l'axe des y ont augmenté et elle reste proportionnelle à la biomasse voire les volumes des fûts.

III.3. Ajustement des modèles

III.3.1. Présentation des modèles de régression

III.3.1.1. Equations de cubage

Partant des volumes des arbres échantillonnés, obtenus sur base des diamètres à hauteur d'homme, nous avons trouvé les coefficients ou paramètres des équations de régression « a » et « b » pour chacune des espèces d'un coté et de l'autre le coefficient de détermination « R^2 » de la MANOVA.

Le tableau 1 présente les différentes caractéristiques des équations de régression du volume du fût: les paramètres des équations (a et b), coefficient de détermination (R^2) et la forme des équations (ou modèles).

Tableau 1 : Paramètres et forme des équations pour la prédiction du volume du fût par espèce.

Espèce	a	b	R^2	Forme de l'équation
<i>Guarea thompsonii</i>	0,000093119	2,49657	0,963	Vol (en m ³) = 0,000093119x $D^{2,49657}$
<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	0,000323727	2,19912	0,963	Vol (en m ³) = 0,000323727 x $D^{2,19912}$
<i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	0,000172028	2,32548	0,963	Vol (en m ³) = 0,0001720286 x $D^{2,32548}$

D désigne le diamètre à hauteur de poitrine et s'exprime en cm

III.3.1.2. Equations de la biomasse du fût

Le tableau 2 présente les différentes caractéristiques des équations de régression de la biomasse du fût: les coefficients de régression (a et b), coefficient de détermination (R^2) et la forme des équations.

Tableau 2 : Paramètres et forme des équations pour la prédiction de la biomasse du fût.

Espèce	a	b	R ²	Forme de l'équation
<i>Guarea thompsonii</i>	0,603222	2,49657	0,963	B. fût (en kg) = $0,603222 D^{2,49657}$
<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	0,2201359	2,19912	0,963	B. fût (en kg) = $0,2201359 x D^{2,19912}$
<i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	0,1121161	2,32495	0,963	B. fût (en kg) = $0,1121161 x D^{2,32495}$

D désigne le diamètre à hauteur de poitrine et s'exprime en cm

III.3.1.3. Equations de la biomasse totale

Le tableau 3 présente les différentes caractéristiques des équations de régression de la biomasse totale: les coefficients de régression (a et b), coefficient de détermination (R²) et la forme des équations de biomasse.

Tableau 3 : Paramètres et forme des équations pour la prédiction de la biomasse totale des arbres.

Espèce	a	b	R ²	Forme de l'équation
<i>Guarea thompsonii</i>	0,1689318	2,49657	0,963	B.totale (en kg) = $0,1689318 x D^{2,49657}$
<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	0,7484656	2,19912	0,963	B.totale (en kg) = $0,7484656 x D^{2,19912}$
<i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	0,3811966	2,32495	0,963	B.totale (en kg) = $0,3811966 x D^{2,32495}$

D désigne le diamètre à hauteur de poitrine et s'exprime en cm

De manière globale, au vu des tableaux 1, 2 et 3 ci-haut relatifs aux caractéristiques et à la forme des équations pour la prédiction du volume du fût, la biomasse du fût et la biomasse totale on constate que le coefficient de détermination R^2 est égal à 0,963.

Il serait indispensable d'ajuster les modèles séparément pour chaque espèce. Cependant, dans la mesure où les trois espèces auraient obéi au même type de modèle, ils ont été ajustés en une seule fois, en utilisant une analyse de covariance « MANOVA ». C'est ainsi que la valeur du coefficient R^2 est identiquement la même dans les trois cas (soit 0,963).

Et comme ce dernier est supérieur à 0,7 cela dénote une bonne régression (Mabiala et al 1981).

III.3.2. Courbe ajustée

L'ajustement de courbes d'équation a consisté à l'introduction des logarithmes de manière à réduire ou rendre constante la variance (l'hétéroscédasticité) de points autour des courbes d'équation de volumes en fonction de diamètre à hauteur de poitrine d'homme.

Les modèles étant initialement de la forme puissance (soit $Vol = aD^b$), après transformation des paramètres, ils prennent la forme des équations linéarisées et l'équation devenait: $\ln(V) = \ln a + b \ln D + \epsilon$.

Les figures ci-dessous montrent le nuage de points des courbes de volumes des fûts ajustées en fonction des espèces.

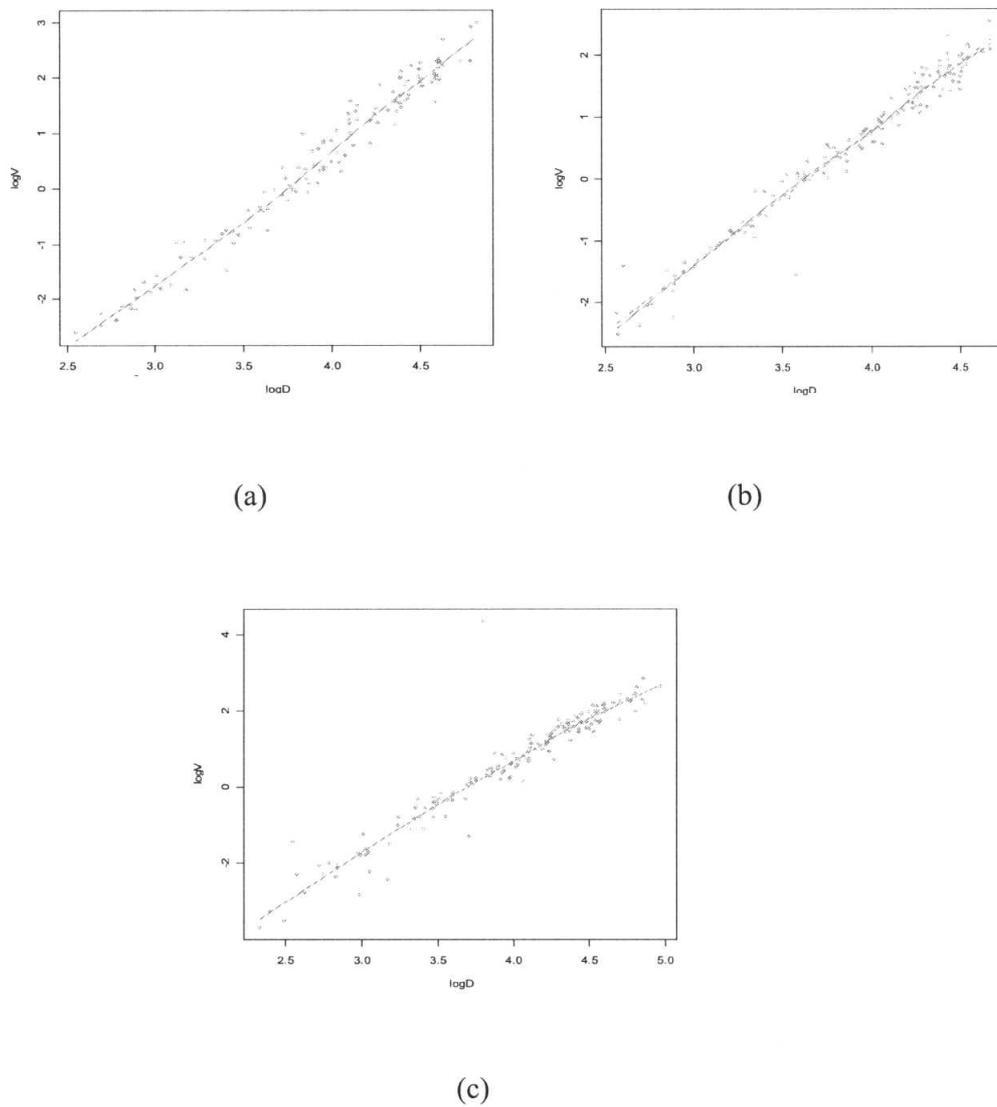


Figure 12 : Courbes d'ajustement pour les 3 espèces étudiées. (a) *Guarea thompsonii* (bossé foncé) (b) *Scorodophloeus zenkeri* (divida) (c) *Gilbertiodendron dewevrei* (limbali)

En effet, il ressort de cette figure que le rôle de l'ajustement était de rendre la relation diamètre- volume (ou biomasse) plus ou moins linéaire et la répartition des points autour de la courbe devient relativement constante pour toutes les classes de diamètre.

III.4. Analyse des résidus

Le deuxième critère qui nous a permis de vérifier la qualité de nos tarifs (après le coefficient de détermination R^2) c'est l'analyse des résidus.

Etant donné le volume du fût qui n'était pas proportionnel au diamètre et l'hétéroscédasticité qui augmente aussi avec ce dernier, la qualité du modèle a ensuite été vérifiée par deux autres paramètres : les écart-types résiduels du volume et la dispersion ou le nuage des points autour de la courbe. Les écart-type résiduels des volumes sont donnés dans le tableau 4 des valeurs résiduelles et les nuages des points dans les graphiques correspondantes aux trois espèces étudiées (voir discussion).

Tableau 4 : Ecart-types résiduels du volume (en m^3) du fût de différents modèles pour les trois espèces.

Espèce	Volume résiduel (m^3)
<i>Guarea thompsonii</i> (bossé foncé)	1,47661966
<i>Scorodophloeus zenkeri</i> (divida)	0,71666711
<i>Gilbertiodendron dewevrei</i> (limbali)	1,12707193

Ce tableau montre que le volume résiduel varie en fonction de l'espèce. Il est égal à 1,477 m^3 pour l'espèce *Guarea thompsonii* ; 0,717 m^3 pour l'espèce *Scorodophloeus zenkeri* et 1,127 m^3 pour *Gilbertiodendron dewevrei*.

III.5. Tables de cubage

Ces tables donnent les volumes des fûts estimés en fonction du dhp en commençant par la classe minimale soit de 10 cm à 19 cm jusqu'à celle considérée comme supérieure (dhp maximum) pour les trois espèces étudiées

Tableau 5 : Tables de cubage de *Guarea thompsonii*

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Classe 10	0,029	0,037	0,046	0,056	0,068	0,080	0,094	0,110	0,127	0,145
Classe 20	0,165	0,186	0,209	0,234	0,260	0,288	0,317	0,349	0,382	0,417
Classe 30	0,454	0,492	0,533	0,576	0,620	0,667	0,715	0,766	0,819	0,873
Classe 40	0,930	0,990	1,051	1,115	1,180	1,249	1,319	1,392	1,467	1,544
Classe 50	1,624	1,707	1,791	1,879	1,968	2,061	2,155	2,253	2,353	2,455
Classe 60	2,560	2,668	2,779	2,892	3,008	3,127	3,248	3,373	3,500	3,630
Classe 70	3,762	3,898	4,036	4,178	4,322	4,470	4,620	4,773	4,929	5,089
Classe 80	5,251	5,416	5,585	5,756	5,931	6,109	6,290	6,474	6,662	6,852
Classe 90	7,046	7,243	7,443	7,647	7,854	8,064	8,278	8,495	8,715	8,939
Classe 100	9,166	9,397	9,631	9,868	10,109	10,353	10,601	10,853	11,108	11,366
Classe 110	11,628	11,894	12,163	12,436	12,713	12,993	13,277	13,565	13,856	14,151
Classe 120	14,450	15,936	15,936	15,936	15,936					

Cette table révèle que le volume pour l'espèce *Guarea thompsonii* varie de 0,029 m³ (diamètre minimum à 10 cm) à 14,450 à 15,936 m³ (maximum dans la classe de diamètre \geq 120 cm).

Il augmente proportionnellement avec les classes de diamètres.

Tableau 6 : Tables de cubage de *Scorodophloeus zenkeri*

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Classe 10	0,051	0,063	0,076	0,091	0,107	0,125	0,144	0,164	0,186	0,210
Classe 20	0,235	0,262	0,290	0,320	0,351	0,384	0,419	0,455	0,493	0,532
Classe 30	0,574	0,616	0,661	0,707	0,755	0,805	0,856	0,910	0,965	1,021
Classe 40	1,080	1,140	1,202	1,266	1,331	1,399	1,468	1,539	1,612	1,687
Classe 50	1,764	1,842	1,923	2,005	2,089	2,175	2,263	2,353	2,444	2,538
Classe 60	2,634	2,731	2,831	2,932	3,035	3,140	3,248	3,357	3,468	3,581
Classe 70	3,696	3,813	3,933	4,054	4,177	4,302	4,429	4,558	4,689	4,823
Classe 80	4,958	5,095	5,235	5,376	5,520	5,665	5,813	5,962	6,114	6,268
Classe 90	6,424	6,582	6,742	6,904	7,068	7,235	7,403	7,574	7,747	7,922
Classe 100	8,099	8,278	8,459	8,643	8,828	9,016	9,206			

Cette table révèle que le volume pour l'espèce *Scorodophloeus zenkeri* va de 0,051m³ (volume correspondant au diamètre minimum à 10 cm) à environ 8 ou 9 m³ (maximum dans la classe de diamètre \geq 100 cm)

Tableau 7 : Tables de cubage de *Gilbertiodendron dewevrei*

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Classe 10	0,036	0,045	0,056	0,067	0,080	0,093	0,109	0,125	0,143	0,162
Classe 20	0,183	0,204	0,228	0,253	0,279	0,307	0,336	0,367	0,399	0,433
Classe 30	0,469	0,506	0,544	0,585	0,627	0,671	0,716	0,763	0,812	0,862
Classe 40	0,915	0,969	1,025	1,082	1,142	1,203	1,266	1,331	1,398	1,466
Classe 50	1,537	1,609	1,684	1,760	1,838	1,918	2,000	2,084	2,171	2,259
Classe 60	2,349	2,441	2,535	2,631	2,729	2,829	2,931	3,036	3,142	3,251
Classe 70	3,361	3,474	3,589	3,706	3,825	3,946	4,069	4,195	4,323	4,453
Classe 80	4,585	4,719	4,856	4,995	5,136	5,279	5,425	5,573	5,723	5,875
Classe 90	6,030	6,187	6,346	6,507	6,671	6,838	7,006	7,177	7,350	7,526
Classe 100	7,704	7,884	8,067	8,252	8,439	8,629	8,822	9,016	9,214	9,413
Classe 110	9,615	9,820	10,027	10,236	10,448	10,662	10,879	11,099	11,321	11,545
Classe 120	11,772	12,001	12,233	12,467	12,704	12,944	13,186	13,431	13,678	13,928

Cette table révèle que le volume du *Gilbertiodendron dewevrei* va de 0,036 m³ (diamètre minimum à 10 cm) à 11,772 à 13,928 m³ (maximum dans la classe de diamètre \geq 120 cm)

CHAPITRE QUATRIEME : DISCUSSION DES RÉSULTATS

La discussion des résultats obtenus dans la présente étude s'appuie sur la comparaison des caractéristiques des tarifs de cubage (à une entrée) proposés ci-avant et ceux relatifs aux mêmes espèces dans les autres provinces de la RD Congo (celui du Cameroun pour le bossé foncé) d'un coté, et tient également compte des valeurs résiduelles entre les divers modèles de l'autre.

Quant à la biomasse, nous nous appuyons sur les études menées en Amazonie par Chave et al. (2005).

Rappelons que les mesures ont été réalisées sur des arbres-échantillons dont le diamètre était ≥ 10 cm à 1,30 m au-dessus du niveau du sol.

IV.1. Tarifs de cubage

Les volumes étaient calculés par la méthode des billons successifs par l'application de la formule de Huber en tenant compte des mesures des diamètres tous les 2 m le long du fût.

La méthode a l'avantage de réduire sensiblement les coûts et les efforts d'échantillonnage. En plus de cela, elle est précise, adaptée pour plusieurs espèces et régions géographiques (Figueiredo, 2000; Rondeux, 1993).

IV.1.1. Comparaison des caractéristiques des modèles

Les tableaux ci-après présentent les tarifs de cubage à une entrée pour les trois espèces étudiées selon les provinces. La comparaison porte sur les caractéristiques des tarifs dans la Yoko (2009) et ceux de la Direction d'Inventaire et d'Aménagement Forestier en provinces pour les mêmes espèces.

Tableau 8 : Comparaison des paramètres des tarifs de Yoko (2009) avec ceux des autres provinces pour l'espèce *Guarea thompsonii*

Province	Coefficient	
	a	b
Bas-Congo, Equateur et Orientale	0,0004658	2,1340008
Bandundu	0,00018242	2,27505
Cameroun	0,00182	2,379844
Yoko (2009)	0,000093119	2,49657

Ce tableau montre que les caractéristiques des équations de cubage varient en fonction des provinces.

On voit également que l'ordonnée à l'origine (coefficient a) du tarif de Yoko est inférieur à ceux des tarifs de provinces alors que sa pente (coefficient b) reste supérieure par rapport à celles des autres.

Tableau 9. Comparaison des paramètres des tarifs de Yoko (2009) avec ceux des autres provinces pour l'espèce *Gilbertiodendron dewevrei*

Province	Coefficient	
	a	b
Bas-Congo, Equateur	0,00029069	2,2004173
Bandundu	0,00018242	2,27505
Province Or.	0,0004647	2,1590877
Yoko(2009)	0,00017202	2,32548

Ce tableau montre également que les caractéristiques des équations de cubage varient en fonction des provinces et on constate que l'ordonnée à l'origine (coefficient a) du tarif de Yoko est inférieur à ceux des tarifs de provinces alors que sa pente (coefficient b) reste supérieure par rapport à celles des autres. L'augmentation du coefficient (en exposant) provoquerait proportionnellement celle du volume estimé (équation de forme puissance).

Tableau 10 : Comparaison des paramètres des tarifs de Yoko (2009) avec ceux des autres provinces pour l'espèce *Scorodophloeus zenkeri*

Province	Coefficient	
	a	b
Bas-Congo, Equateur et Orientale	0,0004658	2,1340008
Bandundu	0,00018242	2,27505
Yoko (2009)	0,000323727	2,19912

Ce tableau montre également que les caractéristiques des équations de cubage varient en fonction des provinces.

Ces différences de valeurs dans tous les cas résulteraient de l'influence du domaine de validité des tarifs. En effet, les tarifs de cubage ne sont applicables que dans la zone d'étude, pour les essences ainsi que les classes de diamètre couverts par l'échantillon ayant servi de base de mesures. (ATIBT 2006 ; Rondeux 1993; Rondeux et al. 2008). Les relèveraient également de la méthodologie appliquée dans chacune des cas voire des types de forêts.

IV.1.2. Analyse résiduelle

Ce paragraphe fait la comparaison entre les volumes résiduels des modèles des provinces (et du Cameroun pour l'espèce *Guarea thompsonii*) par rapport aux modèles retenus dans le cadre de cette étude à Yoko.

La comparaison était basée sur des écart-types résiduels du volume (en m³) du fût de différents modèles par région.

Le tableau 11 donne les valeurs résiduelles du volume de fût de différents modèles pour les trois espèces par région

Tableau 11 : Valeurs résiduelles du volume de fût de différents modèles pour les trois espèces par région.

Espèce	Mod. Ajusté (Yoko)	Prov. Or	Equateur	Bandundu	Cameroun
<i>Guarea thompsonii</i>	1.47661966	1.7114543	-	3.8846461	1.8610547
<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	0.71666711	0.74976575	-	1.4395771	-
<i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	1.12707193	3.1370898	0.97743097	1.3269575	-

Le tableau montre après comparaison que le tarif de Yoko pour l'espèce *Guarea thompsonii* donne des valeurs résiduelles (écarts-types) inférieurs (1,477) à celles des autres provinces soit 1,711 ; 1,861 et 3,885 respectivement pour la Province Orientale, le Cameroun et le Bandundu.

On voit que le volume résiduel de la province de Bandundu correspond presque au triple de Yoko. Cependant, le modèle sous-estime le volume pour tous les diamètres.

On voit également que pour cette espèce (*Guarea thompsonii*) le volume résiduel de Yoko est relativement proche de celui de la Direction d'Inventaire et d'Aménagement Forestier « DIAF » en Province Orientale (1,477 et 1,711). Ceci implique qu'on peut utiliser l'un ou l'autre à savoir celui de Yoko (2009) ou celui de la Direction d'Inventaire et d'Aménagement Forestier « DIAF ».

Quant au *Scorodophloeus zenkeri*, la valeur du volume résiduel de Yoko est aussi proche de celle du tarif établi par la Direction d'Inventaire et d'Aménagement Forestier « DIAF » en Province Orientale soit 0,717 et 0,749. Ce qui implique qu'en Province Orientale, on peut utiliser encore l'un ou l'autre. Le volume résiduel de Bandundu est presque le double de Yoko. Le modèle sous-estime le volume.

Contrairement aux espèces *Guarea thompsonii* et *Scorodophloeus zenkeri* dont le tarif de Yoko est la référence quel que soit la province, le tarif de cubage de *Gilbertiodendron dewevrei* en province d'Equateur présente un volume résiduel inférieur au volume résiduel de Yoko ($0,977 < 1,127$). Ce qui ferait que le tarif de cubage de l'Equateur pour l'espèce peut aussi être utilisé en Province Orientale.

Le tarif de cubage de la Direction d'Inventaire et d'Aménagement Forestier « DIAF » pour la Province Orientale montre une valeur résiduelle très élevée (3,137) par rapport à celle de

Yoko (1,127). C'est plutôt Bandundu qui est relativement proche de Yoko (1,326 et 1,127). Cependant, le graphique montre que Bandundu sous-estime le volume par rapport à Yoko.

Partant des graphiques, la qualité d'une équation de régression est donnée par la dispersion des résidus autour de la droite représentant le volume estimé et le tarif n'est correct que si le nuage de points ne varie pas de manière systématique dans le sens de la variable explicative (Louppe *et al.* 1994).

Les figures 13, 14 et 15 ci-après présentent les distributions des valeurs résiduelles du volume de fût de différents modèles pour les trois espèces par région.

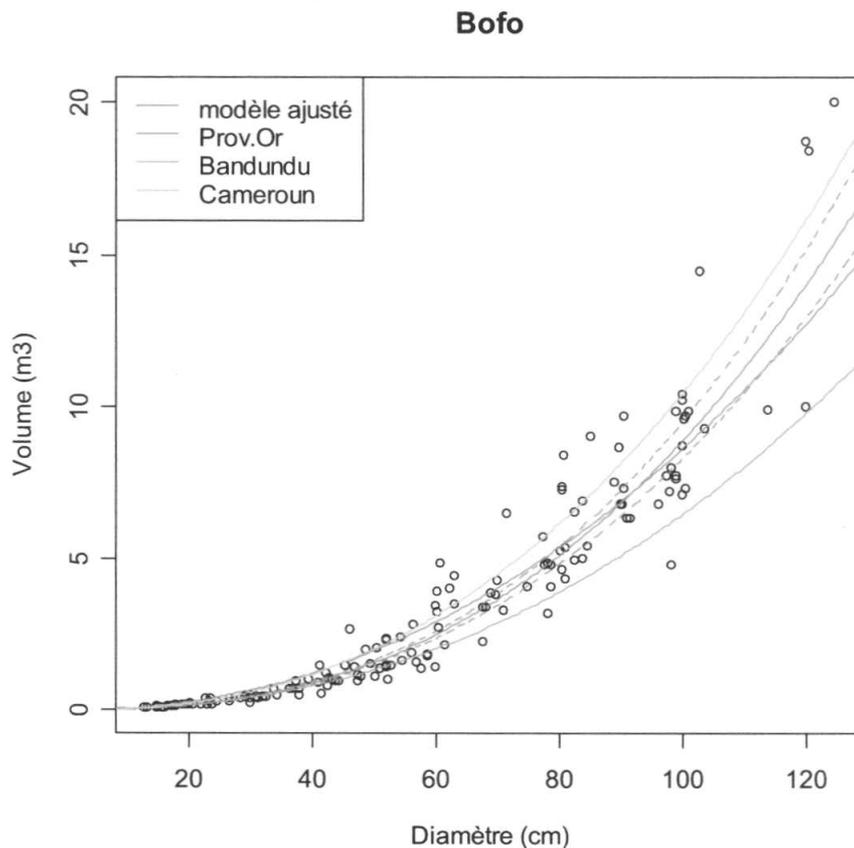


Figure 13 : Graphique des résidus en fonction du diamètre en hauteur de poitrine pour les modèles des provinces et du Cameroun par rapport au modèle ajusté (de Yoko) sur l'espèce *Guarea thompsonii*.

La figure 13 montre que le volume n'est pas proportionnel au diamètre à hauteur de poitrine pour toutes les classes. On voit également de l'hétéroscédasticité qui augmente sensiblement

avec l'augmentation de ce dernier. L'hétéroscédasticité augmente à partir de 60 cm de dhp et démunie en dessous de 60 cm de diamètre.

Toutefois, le modèle établi dans la Province orientale est proche du modèle ajusté (Yoko) pour presque tous les diamètres tandis que le modèle de Bandundu est juste pour les petits diamètres mais sous-estime les volumes pour les arbres dont le dhp est supérieur ou égal à 60 cm. Par contre celui du Cameroun surestime le volume pour toutes les classes de diamètre.

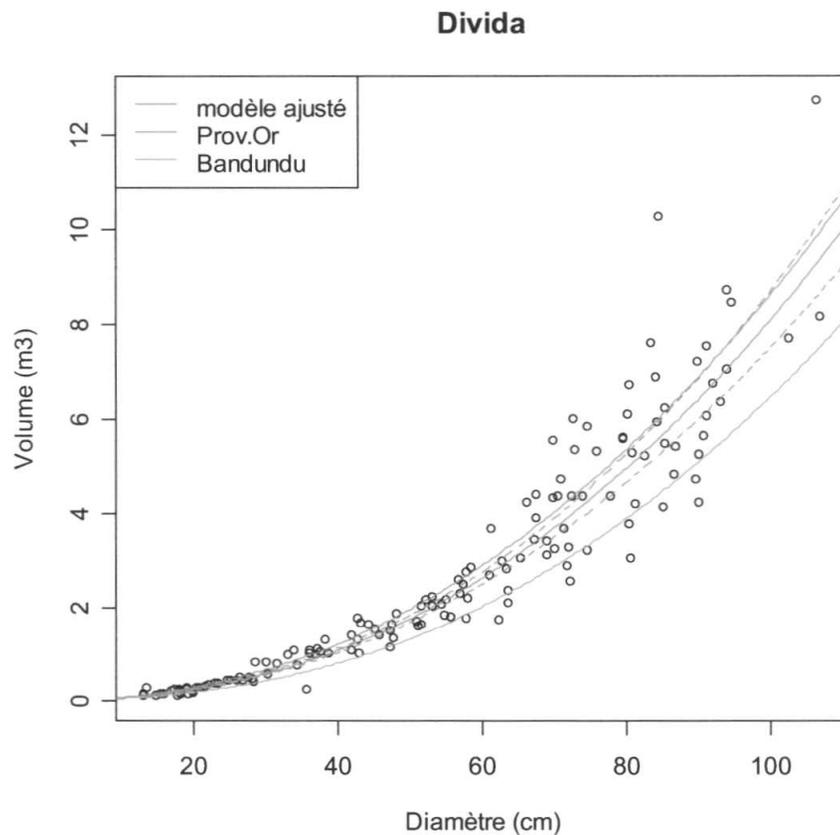


Figure 14 : Graphique des résidus en fonction du diamètre en hauteur de poitrine pour les modèles des provinces par rapport au modèle ajusté (de Yoko) sur l'espèce *Scorodophloeus zenkeri* (divida)

Ce graphique relatif aux valeurs résiduelles pour l'espèce *Scorodophloeus zenkeri* montre qu'il y a aussi de l'hétéroscédasticité qui augmente avec le dhp et la non-linéarité des modèles. Ils suivent un modèle de la forme puissance. Toutefois, celui de la Province orientale se rapproche toujours du modèle ajusté alors que celui de Bandundu sous-estime le volume pour tous les diamètres.

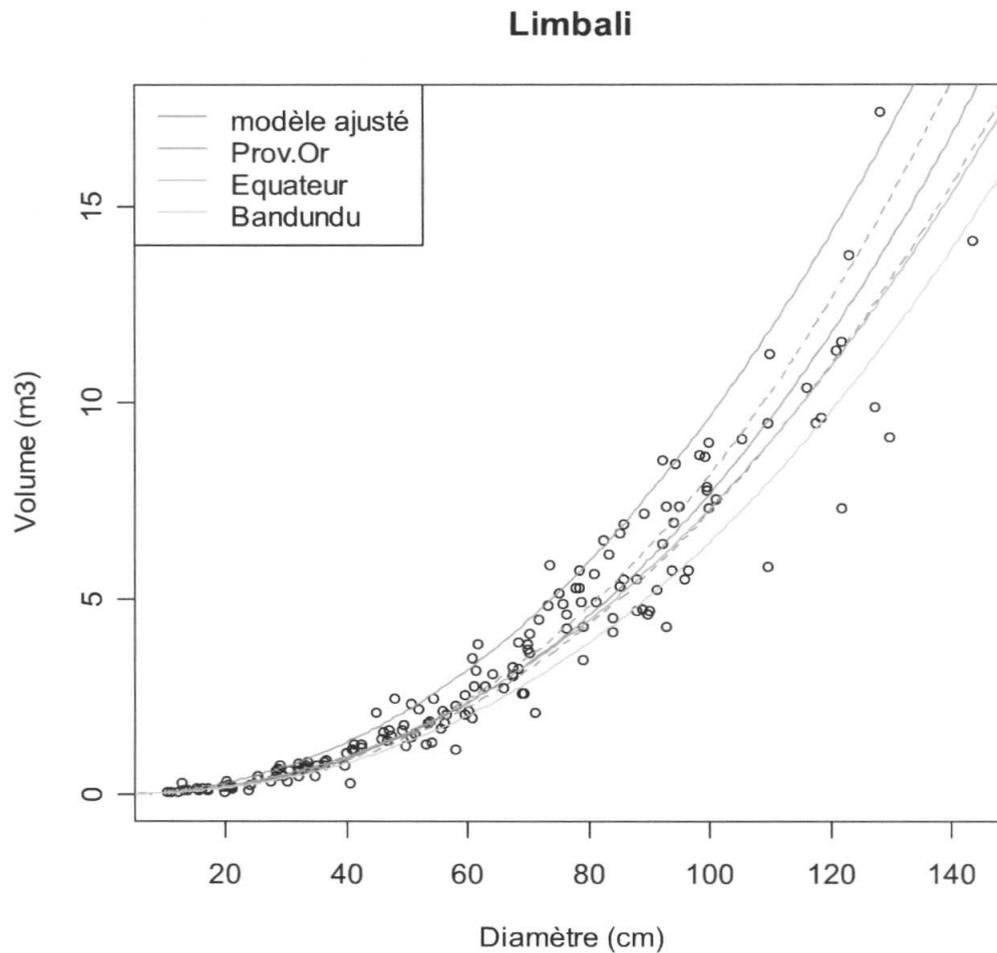


Figure 15 : Graphique des résidus en fonction du diamètre en hauteur de poitrine pour les modèles des provinces par rapport au modèle ajusté (de Yoko) sur l'espèce *Gilbertiodendron dewevrei* (limbali).

Ce graphique montre quant à lui que pour l'espèce *Gilbertiodendron dewevrei*, seul le modèle établi dans la Province de l'Equateur est proche de nos données de Yoko alors que ceux établis en provinces de Bandundu et Province Orientale sous-estime et surestime respectivement les volumes dans toutes les classes de diamètres.

IV.2. Biomasse totale

Plusieurs études ayant été menées en forêt tropicale ont tenté à prédire la biomasse des arbres en fonction du diamètre à hauteur de la poitrine et parfois la hauteur totale des arbres.

Elles ont montré que la biomasse varie selon les types de forêts et dans une même forêt d'une espèce à l'autre.

Certaines estiment que la biomasse peut être calculée en fonction de diamètre uniquement (la hauteur est facultative) (Kurniatum et al. 2001, Keller et al. 2001).

D'autres ont démontré que la biomasse estimée (B_{est}) équivaut au produit du facteur d'expansion de la biomasse (BEF), de la densité (ρ en g/cm^3), du diamètre au carré (D^2 en cm) et la hauteur totale des arbres (H en m) par exemple : $B_{est} \equiv 0,0694 \times \rho D^2 H$ (Dawkins 1961), $B_{est} = 0,0430 (\rho D^2 H)^{0,950}$ (Later, Ogawa et al. 1965), $B_{est} \equiv 0,0509 \times \rho D^2 H$ (Chave et al. 2005).

Dans le cadre de cette étude, la biomasse était estimée en partant des volumes des arbres par la relation ci-après :

Biomasse = volume du tronc $\times \rho \times BEF$ (Eggleston et al. 2006) avec $BEF = 3,4$.

Le tableau 12 ci-après présente les valeurs moyennes de la biomasse (du fût et totale) de l'arbre moyen pour les trois espèces étudiées.

Tableau 12: biomasse de l'arbre moyen par espèce

Espèce	Biom. fût (en kg)	Biom. tot (en kg)
<i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	2254,000	7663,599
<i>Guarea thompsonii</i>	1959,448	6662,122
<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	1928,887	6558,216

Il ressort de ce tableau que la biomasse totale moyenne par arbre pour l'espèce *Gilbertiodendron dewevrei* est supérieure à celle des autres espèces: *Guarea thompsonii* et *Scorodophloeus zenkeri*. Cette différence serait due exactement au fait que l'espèce *Gilbertiodendron dewevrei* présente, dans un même type forestier, avec des fûts présentant de gros diamètre (allant jusqu'à 1,50 m) de qualité et de longueur assez remarquable par rapport aux deux autres espèces, entre autres *Guarea thompsonii* et *Scorodophloeus zenkeri*.

Les histogrammes ci-dessous illustrent l'évolution de la biomasse (de fût et de biomasse totale) pour les trois espèces (les valeurs se retrouvent dans les tableaux des données en annexe 2 (a), (b) et (c)).

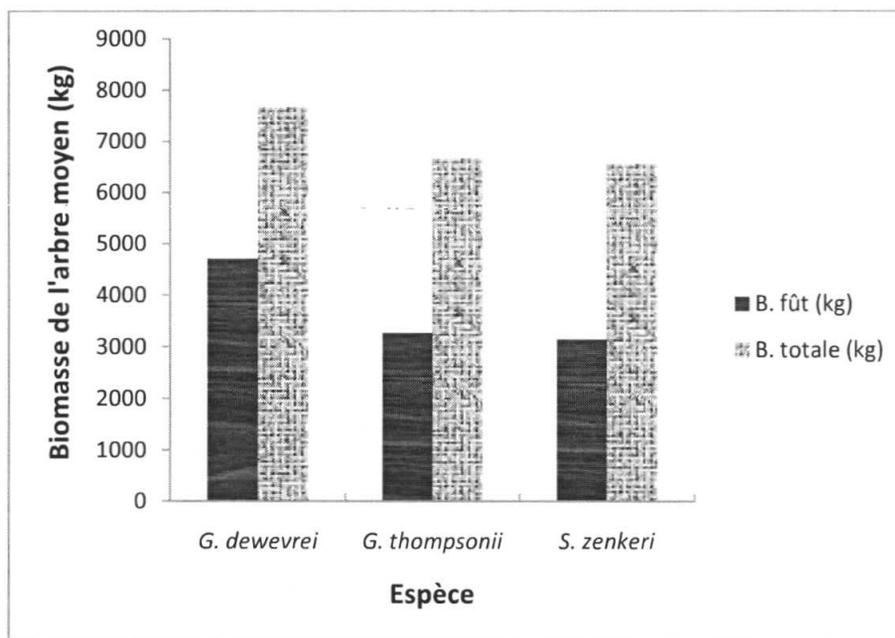


Figure 16: Biomasse de l'arbre moyen en fonction des espèces

En examinant cette figure 16 relative à la biomasse moyenne, les trois espèces ont généralement suivi le schéma général ci-après : Biomasse de *Gilbertiodendron dewevrei* > Biomasse de *Guarea thompsonii* > Biomasse de *Scorodophloeus zenkeri*.

Toutefois, partant des densités spécifiques relatives aux trois espèces (cf. résultats du rapport de préinventaire des 400 hectares du dispositif permanent selon lesquels il y aurait en moyenne 22,7 pieds de *Scorodophloeus zenkeri* (toutes les classes de diamètre confondues); 5,6 pieds de *Gilbertiodendron dewevrei* et 4,5 pieds de *Guarea thompsonii* par hectare (Picard, 2008)), la tendance générale de ces histogramme risque d'être inversée. Et compte tenu de sa densité relative à l'échelle du dispositif permanent combinée à la biomasse de l'arbre moyen par extrapolation, le *Scorodophloeus zenkeri* viendrait à tête (soit 22,7 pieds fois 6558,2 kg ha⁻¹). Il serait suivi de l'espèce *Gilbertiodendron dewevrei* (soit 5,6 pieds fois 7663,6 kg ha⁻¹) puis de *Guarea thompsonii* (soit 4,5 pieds fois 6662,1 kg ha⁻¹).

CONCLUSION ET SUGGESTIONS

Le présent travail avait pour but l'élaboration des tarifs de cubage et de biomasse pour trois espèces d'arbres : *Guarea thompsonii*, *Gilbertiodendron dewevrei* et *Scorodophloeus zenkeri* dans la réserve forestière de Yoko.

Au cours de cette étude, nous avons obtenu des tarifs de cubage et des tarifs de biomasse (et biomasse totale) à une entrée pour chacune des trois espèces ci-haut citées.

Le volume des fûts sur pied a été calculé selon la méthode de cubage par billons successif par la formule de Huber.

La biomasse quant à elle était estimée en partant des volumes des fûts par le produit du facteur d'expansion de la biomasse (BEF), de la densité de bois et du volume du fût.

Les trois tarifs de cubage correspondants aux trois espèces sont :

- $\text{Vol} = 0,000093119 \times D^{2,49657}$ (*Guarea thompsonii*);
- $\text{Vol} = 0,000323727 \times D^{2,19912}$ (*Scorodophloeus zenkeri*);
- $\text{Vol} = 0,0001720286 \times D^{2,32548}$ (*Gilbertiodendron dewevrei*).

Et les trois tarifs de biomasse sont:

- $B.\text{totale} = 0,1689318 \times D^{4,9657}$ (*Guarea thompsonii*);
- $B.\text{totale} = 0,7484656 \times D^{2,19912}$ (*Scorodophloeus zenkeri*);
- $B.\text{totale} = 0,7484656 \times D^{2,19912}$ (*Gilbertiodendron dewevrei*).

L'analyse résiduelle par comparaison des paramètres des modèles de Yoko avec ceux des tarifs établis dans certaines provinces de la RD Congo (Province de Bandundu, Bas-Congo, Equateur et Orientale) mais aussi du Cameroun révèle que la qualité de ceux-ci (dans les provinces) est inférieure à celle des tarifs de Yoko étant donné que valeurs résiduelles enregistrées pour les divers tarifs dans les provinces s'avéraient supérieures à celles enregistrées dans ceux la réserve de Yoko pour les espèces *Guarea thompsonii* et *Scorodophloeus zenkeri*.

Pour l'espèce *Gilbertiodendron dewevrei*, par contre, la qualité du tarif de la province de l'Equateur est relativement supérieure à celle du tarif de la réserve forestière de Yoko car le volume résiduel de cette dernière est particulièrement supérieur à celui de la province de l'Equateur.

En ce qui concerne la biomasse totale des arbres, nous avons constaté que la moyenne par arbre est variable d'une espèce à l'autre. Elle est égale à 7 663,6 kg pour *Gilbertiodendron dewevrei*, à 6 662,12 kg pour *Guarea thompsonii* et à 6 558,22 kg pour *Scorodophloeus zenkeri*.

Perspective d'avenir

Cette étude avait pour objet l'élaboration des tarifs de cubage et tarifs de biomasse pour trois espèces d'arbres.

De même évidente, face à l'immensité de nos forêts, les estimations à grande échelle devront donc être basées sur des cartes de couverture forestières ou des images satellitaires en utilisant des appareils de mesure aussi performants. Comme cela nécessite des moyens ceci implique que, pour valoriser les ressources humaines potentiellement disponibles et pour démontrer le rôle que jouent nos forêts, les gestionnaires forestiers et les chercheurs doivent saisir les opportunités offertes par les nouvelles approches de valorisation de ressources de la biodiversité (puits de carbone et autres services environnementaux) en souscrivant aux programmes de relance de la recherche forestière, aux formations ou la gestion efficiente des fonds qui leur sont liés.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Araujo, T.M., Higuchi, N., Andrade, C. J. 1998. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest site in the state of Para Â, Brazil. *Forest Ecology and Management*, éd. Elsevier, Brazil, 117: 43-52.
- ATIBT, 2006. Formation de forestier aménagiste et de gestionnaire forestier. Module 2. Dendrométrie et topographie. Libreville, Gabon, 47 p.
- Bar-Hen, A. 1998. Quelques méthodes statistiques pour l'analyse des dispositifs forestiers. CIRAD- Forêts, Montpellier, France, pp 81-110.
- Barigah T.S., Imbert, P. & Huc, R., 1997. Croissance et assimilation foliaire nette des jeunes plants de dix arbres de la forêt guyanaise, cultivés a cinq niveaux d'éclaircissement, INRA, Laboratoire de recherches forestières méditerranéennes, France, pp 681- 706.
- Batsielili, A., 2008. Phénologie et régénération des espèces ligneuses arborées en forêt tropicale humide: cas d'Afromosia (*Pericopsis elata*) et du Tola (*Prioria balsamifera*) en République Démocratique du Congo. Mémoire de stage de fin de cycle. Montpellier, France, 64 p.
- Bernhard-Reversat et al. 1993. Biomasse, minéralomasse et productivité en plantation d'*Acacia mangium* et *Acacia auriculiformis* au Congo. *Bois et Forêts de Tropiques*, 238p.
- Bouchon, J. 1974. Les tarifs de cubage. ENGREF/Institut national de la recherche forestière, Nancy, France, 135 p.
- Brown, B., 1997. Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, s., Cairns,M.A., Chambers, J.Q.,Aemus,D., Fôlster, H., Fromard,F., Higuchi,N., Kira, T., Lescure, J-P., Nelson, B.W., Ogawa, H., Puig, H., Riéra, B. et Yamakura,T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Ecosystem Ecology*. Springer-Verlag. 145(1):87-99.

- Chun-Huor, M., 2005. Inventaire par échantillonnage pour estimer la production ligneuse et CRPF, 2003. Les grands principes du cubage et de l'estimation. République française Ministère de l'agriculture et de la pêche, France, 3 p.
- Eggleston S.; Buendia K-M. ; Ngara T. & Tanabe K. 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol 4, Japan. 678 p
- Ezzahiri, M. & Belghazi, B., 2002. Biomasse foliaire du chêne vert (*Quercus rotundifolia* Lam.) en tant que ressource fourragère : exemple des chênaies du Moyen-Atlas, du plateau central et du Maroc oriental. Ecole nationale forestière d'ingénieurs, Salé, Maroc, 115p.
- FAO, 1981. (Organisation des Nations Unies Pour l'Alimentation et l'Agriculture), 1981. Manuel de statistique forestière. Etudes FAO Forêts n°27. FAO éditeur, Rome, Italie.
- FAO Forestry Paper no 134, FAO, Rome, Italie.
- FAO, 2000 Evaluation des ressources forestières mondiales. Rapport principal Etude FAO-forêt no 140, Rome, 85p.
- FAO, 2000. Directives pour les évaluations dans les pays tropicaux. Archives documentaires de la FAO, Département de la forêt. Rome.
- Fiche n° 412300 Comment choisir un tarif de cubage pour les arbres sur pied. Forêt privée française. France, 15 p.
- Figueiredo, A.F., Amaral, S-M and Ricardo M-A- C. 2000. Testing accuracy of log volume calculation procedures against water displacement techniques (xylometer) Can. J. For. Res. Vol. 30, NRC Canada, pp 990-997.
- Gaudin, S., 1996. Dendrométrie des peuplements. Module D42. BTSA-Gestion Forestière, CFPPPA/CFAA de Châteaufarine, Besançon), 66 p.
- Guitet, S., 2007. Principales définitions utilisées dans le modèle de l'offre mondiale

- Harmand JM., 2004. Rôle des espèces ligneuses à croissance rapide dans le fonctionnement biogéochimiques de la jachère. Effets sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux. Bassin de la Bénoué au nord-Cameroun, (volume 1: texte), CIRAD, Département Forêt, 232p.
- Houedougbe, F-N., Glele, K-R & Rondeux, J: 2001. Étude dendrométrique d'*Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth. en mélange sur vertisol au Bénin.
- Kabore, C., 2004. Test d'applicabilité de l'échantillonnage horizontal par ligne au Burkina Faso
- Kahindo, M., 2006. Elaboration des tarifs de cubage pour *Funtumia africaine* Benth. Stapf dans la réserve forestière de Yoko, TFE inédit, FSA/UNIKIS, 30 p.
- Keller, M., Palace, M. & Hurtt, G.; 2001. Biomass estimation in the Tapajos National Forest, Brazil examination of sampling and allometric uncertainties. *Forest Ecology and Management*, 154(3):371–382.
- Kumba, L. 2007. Analyse de la structure spatiale des données ponctuelles par les méthodes des distances appliquées en écologie du paysage. Cas de la Réserve Forestière de la Yoko à Kisangani (R.D.Congo)
- Kurniatun, H., Sitompul, S.M., Meine, V.N., Palm, C. 2001. Methods for sampling carbon stocks above and below ground. International Center for Research in Agroforestry. Bogor, Indonesia, 23 p
- Lejoly, J. , 2008. Typologie forestière (Phytosociologie et phytogéographie). Notes de cours à l'usage des étudiants en Master en gestion de la biodiversité et aménagement forestier durable, Inédit, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, 133p.
- Lejoly, J., Lisowsky, S. et Ndjele, M., 1995. *Les plantes vasculaires de la sous-région de Kisangani et de la Tshopo*. Catalogue informatisé. Doc. Polycopié Fac. Sc. ULB, 136 pp.
- Lomba, B.L & Ndjele, M-B., 1998. Utilisation de la méthode de transect en vue de l'étude de la phytodiversité dans la Réserve de Yoko (Ubundu, R.D. Congo). *Annales* (11), Fac. Sci. UNIKIS, 35-46 p.p.

- Lomba, B.L., 2007. Contribution à l'étude de la phytodiversité des ligneux de la réserve forestière de Yoko. Mémoire, D.E.S, UNIKIS, 60p.
- Loupe, D.; Koua, M. & Coulibaly, A., 1994. Tarifs de cubage pour *Isoberlinia doka* Craib & stapf en forêt de Badéno (nord Côte d'Ivoire). Technical report, Institut des Forêts (IDEFOR), département foresterie, Côte d'Ivoire, 12 p.
- Mabiala, M., 1981. Normes d'inventaire forestier. Tarif de cubage n° 4 SPIAF, Kinshasa, 70p.
- Massenet, J.Y., 2006. Estimation de volume d'arbres. Lycée forestier. Château de Mesnières, 19 p.
- Mate, M., 2001. Croissance, phytomasse et minéralomasse des haies des légumineuses améliorantes en cultures en allées à Kisangani (République Démocratique du Congo), Thèse inédite, Fac.Sc., ULB, 235pp.
- Meriem, F-D. & Fouquet, D., 1998. Estimation de la qualité des arbres sur pied. Série FORAFRI 1998- Document 9. CIRAD-Forêt, Montpellier, France. Pp 1-5
- Ndjoukam R. 1995. Contribution à l'étude des interactions « essences forestières en croissance rapide et sols des savanes tropicales humides » : Cas de la réserve forestière de Mélap (Foumban) au Cameroun. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux (Belgique), 215p.
- Nshimba, S.M., 2008. Etude floristique, écologique et phytosociologique des forêts de l'île Mbiye à Kisangani, RD Congo. Thèse de Docteur en Sciences. ULB, 389 p.
- Picard, N. & Gourlet-Fleury, S. 2008 Manuel de référence pour l'installation de dispositifs permanents en forêt de production dans le bassin du Congo, CIRAD, 259 :1-8
- Picard, N. 2008. Analyse des données de preinventaire de Yoko, CIRAD-ES
- Reitsma, J.M. 1988. *Végétation forestière du Gabon*. Tropenbos Technical Series 1, The Tropenbos foundation, Wageningen, The Netherlands, 142p
- Reyes, G., Brown S., Chapman, J., et Lugo, A. E. 1992. *Wood densities of tropical tree species*. USDA Forest Service, General Technical Report SO-88, Southern Forest Experiment Station, New Orleans, Louisiana, USA 15p.

- Richter, H.G. et Dallwitz, M. J. 2000. Commercial timbers: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval. In English, French, German, and Spanish. Version: 4th May 2000.
- Rondeux, J. & Otoul, C. 1998. Construction d'un tarif de cubage à l'aide d'un micro-ordinateur. Gembloux (Belgique) : Presses agronomiques de Gembloux, pp 41-68.
- Rondeux, J. 1993 La mesure des arbres et des peuplements forestiers. Presses agronomiques de Gembloux, Belgique : 521 (62-100).
- Smaktala, G., Hautdidier, B., Gautier, D., Ndjiemoun, A., 2002. Construction de tarifs de biomasse pour l'évaluation de la disponibilité ligneuse en zone de savanes au Nord Cameroun. Actes du colloque. Garoua, Cameroun, 8p.
- son accroissement. Partie 3. Acquisition et traitement des informations, 20p.
- Tailfer, Y. 1989. La forêt dense d'Afrique Centrale. Identification pratique des principaux arbres. ACCT et CTA. Wageningen. Tome 1, 456 p.
- Tailfer, Y. 1989. La forêt dense d'Afrique Centrale. Identification pratique des principaux Tome 1 (456p) et (1271p).
- Tchatat, M. – en collaboration avec Nasi, R. & Ousseynou N-O. 1999 Produits forestiers Autres que le Bois d'oeuvre (PFAB) : place dans l'aménagement durable des forêts denses humides d'Afrique Centrale 1999.. 95 p.
- Thibaut, A., Claessens, H., Rondeux, J. 1998. Construction de tarifs d'arbres pour l'aulne glutineux [*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn]. Faculté universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux (Belgique), 11p.
- Thuresson, 2002 . Valeur de l'échantillonnage de terrain à faible intensité dans les inventaires forestiers nationaux. Unasylva 210, Vol. 53, pp 19-23
- Timothy, P. & Brown S., 2005. Guide de mesure et de suivi de carbone dans les forêts et prairies herbeuses, Ecosystem Services Units, Winrock International, Arlington, USA, 39p.

- UPR (Dynamique des forêts naturelles). Libreville, Gabon. 436 p.
- Vancustem C., Pekel, J.-F, Evrard, C, Malaisse, F. & Defourny 2006. *Carte de l'occupation du sol de la République Démocratique du Congo au 1: 3 000 000*. Notice explicative. Presse universitaire de Louvain, 31 p.
- Vanstaevel, B. 2004. Utiliser un barème ou un tarif de cubage sur pied. Entretenir sa forêt
Fiche matériel, CRPF Bourgogne, France. pp 25-30.
- Vivien, J. & Faure, J.-J. 1985. Arbres des forêts denses d'Afrique Centrale, Agence de Coopération Culturelle et Technique, Ministère des Relations extérieures, Coopération et Développement, Paris, 565 p.
- Wilks, M.C. & Issembé, Y.A. 2000. – Guide pratique d'identification: les arbres de la Guinée équatoriale, Région continentale. Projet CUREF, Bata, Guinée Equatoriale, 546 p.
- Sites web: <http://biodiversity.uno.edu/delta/>

TABLE DES MATIERES

DEDICACE	
REMERCIEMENTS	
RESUME	
ABSTRACT	
LISTE DES TABLEAUX	
LISTE DES FIGURES	
INTRODUCTION.....	1
0.1. Problématique.....	1
0.2. Hypothèses de travail	2
0.3. Objectifs du travail	2
0.3.1. Objectif général	2
0.3.2. Objectifs spécifiques.....	3
0.4. Intérêt du travail.....	3
0.5. Subdivision du travail.....	4
I.1. Présentation du milieu d'étude.....	5
I.1.1. Situation géographique et administrative.....	5
I.1.2. Climat.....	7
I.1.3. Milieu biotique	9
I.1.3.1. Aperçu sur la végétation.....	9
I.1.3.2. Activités humaines	10
I.1.4. Caractéristiques géologiques et géomorphologiques	11
I.2. Tarif de cubage et biomasse	11
I.2.1. Tarif de cubage.....	11
I.2.1.1. Définition et sortes des tarifs.....	11
I.2.2. Tarif de biomasse	12
I.2.3. Présentation des espèces : Description botanique et technologique	13
I.2.3.1. <i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	13
I.2.3.2. <i>Guarea thompsonii</i>	15
I.2.3.3. <i>Scorodophloeus zenkeri</i>	19
I.2.3.4. Choix des essences	20
I.2.4. Quelques études réalisées.....	22
CHAPITRE DEUXIEME : MATERIEL ET METHODES.....	24
II.1. Matériel biologique.....	24
II.2. Méthodologie de travail	25
II.2.1. Récolte des données.....	25
II.2.1.1. Taille de l'échantillon	26
II.2.1.2. Choix proprement dit de l'échantillon	27

II.2.1.3. Type des données récoltées et mensurations	27
II.2.2. Préparation des données.....	29
II.2.3. Construction des tarifs de cubage et de biomasse.....	29
II.2.3.1. Construction des tarifs de cubage	29
II.2.3.2. Etapes de l'élaboration de tarif de biomasse.....	31
II.2.4. Analyse résiduelle.....	32
CHAPITRE TROISIEME : RESULTATS	33
III.1. Répartition des tiges par classe de hauteur de fût.....	33
III.2. Présentation des volumes et modèles de régression	35
III.2.1. Volumes par espèce.....	35
III.2.2. Biomasse des fûts	37
III.2.3. Biomasse totale.....	39
III.3. Ajustement des modèles	40
III.3.1. Présentation des modèles de régression	40
III.3.1.1. Equations de cubage	40
III.3.1.2. Equations de la biomasse du fût	40
III.3.1.3. Equations de la biomasse totale.....	41
III.3.2. Courbe ajustée	42
III.4. Analyse des résidus	44
III.5. Tables de cubage	44
CHAPITRE QUATRIEME : DISCUSSION DES RÉSULTATS	47
IV.1. Tarifs de cubage	47
IV.1.1. Comparaison des caractéristiques des modèles.....	47
IV.1.2. Analyse résiduelle	49
IV.2. Biomasse totale	53
CONCLUSION ET SUGGESTIONS	56
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	58
TABLE DES MATIERES.....	64

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Paramètres et forme des équations pour la prédiction du volume du fût par espèce.	40
Tableau 2 : Paramètres et forme des équations pour la prédiction de la biomasse du fût.....	41
Tableau 3 : Paramètres et forme des équations pour la prédiction de la biomasse totale des arbres.....	41
Tableau 4 : Ecart-types résiduels du volume (en m ³) du fût de différents modèles pour les trois espèces.....	44
Tableau 5 : Tables de cubage de <i>Guarea thompsonii</i>	45
Tableau 6 : Tables de cubage de <i>Scorodophloeus zenkeri</i>	45
Tableau 7 : Tables de cubage de <i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	46
Tableau 8 : Comparaison des paramètres des tarifs de Yoko (2009) avec ceux des autres provinces pour l'espèce <i>Guarea thompsonii</i>	47
Tableau 9. Comparaison des paramètres des tarifs de Yoko (2009) avec ceux des autres provinces pour l'espèce <i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	48
Tableau 10 : Comparaison des paramètres des tarifs de Yoko (2009) avec ceux des autres provinces pour l'espèce <i>Scorodophloeus zenkeri</i>	48
Tableau 11 : Valeurs résiduelles du volume de fût de différents modèles pour les trois espèces par région.....	49

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de la RD Congo, Ville de Kisangani et localisation de la Réserve forestière de Yoko (en petit cercle jaune (a) ou en gris (b)). (Source : Vancustem, 2006 ; Google earth in Kumba 2008)	6
Figure 2 : Diagramme ombrothermique de Kisangani avec les données actuelles (Nshimba 2008).	8
Figure 3 : (a, b et c). Conformation des fûts de trois espèces étudiées.....	24
Figure 4 : Schéma du dispositif permanent de 400 ha de Yoko.....	26
Figure 5 : Technique de prise des données.....	28
Figure 6 : Distribution des tiges par classe de hauteur de fût de <i>Gilbertiodendron dewevrei</i> .	33
Figure 7 : Distribution des tiges par classe de hauteur de fût de <i>Scorodophloeus zenkeri</i>	34
Figure 8 : Distribution des tiges par classe de hauteur de fût de <i>Guarea thompsonii</i>	35
Figure 9 : Graphiques des volumes des fûts par espèce en fonction du dhp.....	36
Figure 10 : Graphique des biomasses des fûts par espèce en fonction de dhp.....	38
Figure 11 : Graphique des biomasses totales par espèce en fonction de dhp.....	39
Figure 12 : Courbes d'ajustement pour les 3 espèces étudiées. (a)bossé foncé (b) divida (c) limbali	43
Figure 13 : Graphique des résidus en fonction du diamètre en hauteur de poitrine pour les modèles des provinces et du Cameroun par rapport au modèle ajusté (de Yoko) sur l'espèce <i>Guarea thompsonii</i>	51
Figure 14 : Graphique des résidus en fonction du diamètre en hauteur de poitrine pour les modèles des provinces par rapport au modèle ajusté (de Yoko) sur l'espèce <i>S. zenkeri</i> (divida)	52
Figure 15 : Graphique des résidus en fonction du diamètre en hauteur de poitrine pour les modèles des provinces par rapport au modèle ajusté (de Yoko) sur l'espèce <i>Gilbertiodendron dewevrei</i> (limbali).	53
Figure 16 et 17: Biomasse moyenne du fût (par arbre) par espèce.	55

LES ANNEXES

ANNEXE I (a) : Quelques formules utilisées

A. Calcul des diamètres

$$D = 2 \times Dh(NBl + NBe/4)$$

Où D , Dh , NBl et NBe représentent respectivement : le diamètre, la distance horizontale de l'arbre à la station de prise de mesure, le nombre de bandes larges et le nombre de bandes étroites vus et comptés au relascope.

- Estimation des volumes

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

$$Vol = \frac{\pi L}{4} (d1^2 + d2^2 + \dots + dn^2) = \frac{\pi L}{4} \left(\sum_{i=1}^n di^2 \right)$$

B. Equations de régression forme générale)

Y ou Vol = aD^b où Vol est le volume prédit par le modèle puissance

C. Ajustement des modèles

Si Y ou Vol = aD^b (1) \implies lnY = ln a + b lnD (2)

- Variance résiduelle (σ^2_r)

$$\sigma^2_r = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (Vobs - Vpred)^2$$

- Variance résiduelle (σ^2_r) ajustée

$$\sigma^2_{ra} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (\log Vi - \log Vpred)^2 \text{ et } \log Vpred = \log a + b \log Di$$

- Variance expliquée

$\sigma^2_{expl} = \sigma^2 - \sigma^2_r$ (variance total moins variance résiduelle)

- Estimation de la Biomasse et biomasse totale des arbres

- Biomasse fût

Biom. f = vol x ρ (ρ = densité des bois) ; Bossé foncé (ρ = 550 kg/m³) ; Divida (ρ = 680 kg/m³) ; Limbali (ρ = 650 kg/m³)

- Biomasse totale des arbres

Biom. tot = Biom.fût x BEF (BEF est le facteur d'expansion de la biomasse) BEF = 3,4

ANNEXE I (b) : Fréquences de tiges par classes de hauteurs fûts par espèce.

Gilbertiodendron dewevrei

Classe de hf	Fobs	Fcum	Frel
2 à 3,91	1	1	0,60
3,91 à 5,81	9	10	5,42
5,81 à 7,72	23	33	13,85
7,72 à 9,62	47	80	28,31
9,62 à 11,44	35	115	21,08
11,44 à 13,44	28	143	16,87
13,44 à 15,34	16	159	9,61
15,34 à 17,25	6	165	3,61
17,25 à 19,16	1	166	0,60
Nb	166		100%

Guarea thompsonii

Classe de hf	F.obs	F.cum	F.rel
3,5 à 5,44	9	9	6
5,44 à 7,38	33	42	22
7,38 à 9,32	35	77	23,33
9,32 à 11,26	24	101	16
11,26 à 13,2	23	124	15,33
13,2 à 15,14	15	139	10
15,14 à 17,08	6	145	4
17,08 à 19,02	5	150	3,33
Nb	150		100 %

Scorodophloeus zenkeri

Classe de hf	Fobs	Fcum	Frel
5,5 à 7,46	13	13	9,09
7,76 à 9,4	31	44	21,67
9,4 à 11,37	42	86	29,37
11,34 à 13,29	29	115	20,28
13,29 à 15,25	18	133	12,59
15,25 à 17,41	6	139	4,19
≥17,25	4	143	2,80
Nb	143		100%

ANNEXE 2 ^(a) : Données de terrain volume du fût, biomasse de fût et biomasse totale : *Guarea thompsonii* (bossé foncé)

NO	Dhp (cm)	H.fût (m)	H. tot (m)	Volume du fût (m ³)	Biomasse du fût (kg)	Biomasse totale (kg)	$\equiv 0,0509 * \rho D^2 H$ (kg)
1	12,8	6,5	16,3	0,072	39,850	135,490	7,476
2	13,5	4,5	11,3	0,054	29,846	101,477	5,765
3	14,8	7,5	19,3	0,103	56,826	193,208	11,835
4	14,8	5,5	16,3	0,084	46,076	156,659	99,952
5	15,7	5	14,6	0,069	37,966	129,083	10,075
6	16,1	5,5	14	0,091	50,123	170,420	10,159
7	16,2	5,5	16,3	0,092	50,622	172,115	119,756
8	16,7	6,5	17,2	0,118	65,105	221,356	134,289
9	17,1	5,5	11,4	0,112	61,829	210,220	9,332
10	17,5	5,5	15,3	0,122	67,281	228,755	13,117
11	17,5	5,5	13,3	0,113	62,245	211,634	11,403
12	17,9	7,5	17,3	0,159	87,322	296,895	15,518
13	18	6	15,5	0,114	62,802	213,528	14,059
14	18,1	7	12,7	0,138	75,735	257,498	11,648
15	18,9	7,5	13,4	0,183	100,730	342,482	13,400
16	19,6	5,5	16,3	0,153	84,126	286,030	17,530
17	20,1	7	17	0,176	96,931	329,564	19,227
18	20,3	7,5	15,3	0,206	113,479	385,828	17,651
19	20,7	5,5	17,3	0,165	90,596	308,025	20,752
20	20,8	6	15,5	0,160	88,069	299,433	18,773
21	22	5,5	15,2	0,196	107,669	366,076	20,595
22	22,1	6	12,5	0,174	95,902	326,068	17,091
23	22,8	9,5	24,3	0,383	210,474	715,613	35,364
24	23,1	4,5	19,3	0,176	96,537	328,226	28,831
25	23,3	7,5	18,2	0,289	158,945	540,412	27,661
26	23,6	8	20	0,377	207,212	704,520	31,184
27	23,9	4	16,6	0,158	86,918	295,520	26,545
28	24,7	8	15,5	0,287	157,904	536,872	26,473
29	26,6	6,5	16,2	0,391	215,211	731,716	32,089
30	26,6	6	22,6	0,280	154,044	523,748	44,766
31	28,4	7,5	25	0,386	212,446	722,316	56,449
32	29,4	7,5	19	0,444	244,087	829,895	45,976
33	30	5,5	17	0,367	201,602	685,446	42,832
34	30,1	8	19,5	0,469	257,849	876,687	49,459
35	30,1	3,5	16,3	0,230	126,258	429,276	41,343
36	31,2	7,5	24,3	0,453	249,331	847,725	66,221
37	31,4	5,5	24,3	0,369	202,790	689,487	67,073
38	32,2	5,5	27,3	0,438	240,846	818,877	79,242

NO	Dhp (cm)	H.fût (m)	H. tot (m)	Volume du fût (m ³)	Biomasse du fût (kg)	Biomasse totale (kg)	$\equiv 0,0509 \cdot \rho D^2 H$ (kg)
39	32,6	6	23	0,430	236,599	804,436	68,430
40	33,9	7,5	25,5	0,676	371,708	1263,806	82,039
41	34,3	6,5	23,3	0,493	271,251	922,254	76,741
42	36,5	7,5	26,8	0,706	388,333	1320,333	99,954
43	36,9	7,5	24,2	0,666	366,156	1244,930	92,246
44	37,4	8,5	26,5	0,933	513,307	1745,244	103,769
45	38	6,5	19,4	0,471	259,160	881,145	78,424
46	38	4	18,5	0,700	384,873	1308,567	74,786
47	39,6	8,5	26	0,978	537,877	1828,783	114,142
48	41,2	7,5	20,3	0,889	488,851	1662,092	96,465
49	41,4	12,5	28,3	1,466	806,381	2741,694	135,790
50	41,6	4	22,7	0,519	285,716	971,436	1099,748
51	42,3	10,5	26,3	1,201	660,653	2246,221	131,740
52	42,5	6,5	21,8	0,795	437,519	1487,564	1102,338
53	42,9	9	24,3	1,045	574,664	1953,857	1251,991
54	43,5	7,5	27,3	1,021	561,325	1908,504	144,618
55	43,9	8	27,5	0,974	535,738	1821,510	1483,687
56	44,5	6,5	31	0,947	521,056	1771,589	171,855
57	45,4	11,5	25,8	1,477	812,100	2761,140	148,872
58	46,2	9	29,3	2,673	1470,190	4998,647	1750,782
59	47,1	8	23,1	1,430	786,612	2674,481	143,461
60	47,4	7,5	27,7	1,181	649,455	2208,146	174,228
61	47,5	7,5	22,2	0,937	515,564	1752,916	140,223
62	48,1	7,5	28,3	1,106	608,180	2067,812	183,298
63	48,8	7	30	1,964	1080,420	3673,428	2000,052
64	49,6	10	29,3	1,539	846,286	2877,372	201,795
65	50,3	7	22,5	1,118	615,086	2091,292	1593,672
66	50,7	10,5	24,3	2,058	1132,084	3849,084	1748,649
67	51,2	7,5	24,3	1,375	756,247	2571,241	1783,309
68	52	7,5	28,8	1,404	771,986	2624,751	2180,116
69	52	8	27	1,466	806,310	2741,454	2043,859
70	52,1	11,5	17,3	2,276	1251,897	4256,451	131,463
71	52,1	12	33,8	2,366	1301,177	4424,002	2568,459
72	52,3	5	20,4	1,005	552,506	1878,519	1562,119
73	53	9	26	1,453	798,925	2716,345	2044,587
74	54,5	13	28,3	2,380	1309,168	4451,173	2353,206
75	54,7	8,5	21,3	1,615	888,239	3020,012	178,416
76	56,2	9,5	27	1,898	1044,118	3550,000	2387,354
77	56,4	12	31	2,834	1558,738	5299,708	276,058
78	56,9	7	26	1,594	876,617	2980,498	2356,559
79	57,7	5,5	27,3	1,369	752,912	2559,899	254,445

NO	Dhp (cm)	H.fût (m)	H. tot (m)	Volume du fût (m ³)	Biomasse du fût (kg)	Biomasse totale (kg)	$\equiv 0,0509 \cdot \rho D^2 H$ (kg)
80	58,8	6,5	23,3	1,790	984,744	3348,130	2255,231
81	58,9	7,5	26,7	1,825	1003,886	3413,211	2593,118
82	60	14	23	3,424	1883,074	6402,451	2317,986
83	60,1	5	30,2	1,391	765,211	2601,719	3053,770
84	60,25	14	29	3,875	2131,335	7246,539	294,708
85	60,4	10	27	3,206	1763,157	5994,734	2757,516
86	60,7	10,5	18,3	2,707	1488,643	5061,386	188,760
87	60,8	13	34,3	4,854	2669,817	9077,377	3549,619
88	61,7	8	26	2,162	1189,242	4043,422	277,092
89	62,4	15	28	4,003	2201,507	7485,125	305,216
90	63,2	15	31,5	4,422	2432,309	8269,852	3522,291
91	63,2	13,5	31,8	3,476	1911,614	6499,488	3555,836
92	67,8	11	29,2	3,383	1860,890	6327,026	375,771
93	67,8	7,5	31,5	2,260	1242,777	4225,440	4053,689
94	68,3	10	28	3,401	1870,419	6359,424	3656,621
95	69	7	24,3	3,855	2120,352	7209,197	323,881
96	69,7	11	32,5	3,797	2088,505	7100,918	4420,072
97	70	13,5	28,7	4,272	2349,759	7989,181	3936,937
98	71	9,5	26,3	3,268	1797,499	6111,495	3711,530
99	71,7	17,5	34,7	6,464	3555,245	12087,834	4993,997
100	75	12	28,8	4,072	2239,748	7615,145	4535,190
101	77,4	14	31,3	5,715	3143,222	10686,956	5249,365
102	77,8	14	26	4,773	2625,248	8925,844	4405,681
103	78,3	7	25,6	3,200	1759,971	5983,902	4393,837
104	78,4	12,5	33,5	4,851	2668,082	9071,480	5764,444
105	78,8	11	34	4,787	2632,851	8951,693	5910,331
106	78,9	10	27	4,035	2219,042	7544,743	470,542
107	80,4	10	32,5	5,269	2898,220	9853,949	588,134
108	80,5	8	29,3	4,643	2553,559	8682,100	5315,448
109	80,6	12	33	7,384	4061,362	13808,630	600,156
110	80,7	11,5	29,2	7,272	3999,749	13599,148	5323,661
111	80,8	14	35	8,400	4620,254	15708,863	6396,925
112	81,1	9,5	30,6	4,308	2369,181	8055,214	5634,347
113	81,2	11	31	5,351	2943,113	10006,583	5722,084
114	82,6	11	29,3	4,916	2703,883	9193,202	559,639
115	82,7	14,4	29,5	6,516	3583,626	12184,327	564,824
116	83,9	17	32,9	6,905	3797,763	12912,395	6483,362
117	84	9,7	32,3	4,996	2747,556	9341,691	638,031
118	84,6	12	29	5,382	2960,128	10064,435	5810,576
119	85,3	18	27,3	9,050	4977,417	16923,217	556,085
120	89	12	35	7,530	4141,719	14081,844	7761,194

NO	Dhp (cm)	H.fût (m)	H. tot (m)	Volume du fût (m ³)	Biomasse du fût (kg)	Biomasse totale (kg)	$\equiv 0,0509 * \rho D^2 H$ (kg)
121	89,8	16	32,3	8,644	4754,185	16164,229	729,182
122	90	12	27,3	6,819	3750,549	12751,867	6190,534
123	90,3	11,5	30,3	6,799	3739,496	12714,287	6916,695
124	90,5	12,5	30,5	7,336	4034,731	13718,085	6993,224
125	90,7	14	29,2	9,724	5348,381	18184,495	672,478
126	91	10	26	6,323	3477,523	11823,579	6027,491
127	91,6	9,5	33,3	6,326	3479,316	11829,674	7821,961
128	96,3	16	31,5	6,780	3728,950	12678,430	8177,934
129	97,6	12,5	33,2	7,757	4266,411	14505,797	8853,565
130	98	10,5	33,3	7,198	3958,780	13459,851	8953,171
131	98,2	12,5	29	4,772	2624,557	8923,494	782,891
132	98,4	13	32,5	8,012	4406,720	14982,847	8809,556
133	99	13	33	7,725	4248,674	14445,492	9054,507
134	99	13	28	7,637	4200,164	14280,558	7682,612
135	99,1	13,5	33,5	9,867	5426,575	18450,356	9210,275
136	100,1	12	33,2	8,690	4779,262	16249,490	9312,938
137	100,2	14,5	32	10,213	5616,960	19097,665	899,427
138	100,2	10	32,3	7,118	3914,762	13310,191	9078,591
139	100,2	14	33	10,447	5745,803	19535,731	9275,340
140	100,3	13	34,2	9,603	5281,874	17958,371	9631,822
141	100,7	10	32	9,699	5334,385	18136,909	908,426
142	100,7	7,5	33	7,301	4015,549	13652,865	9368,140
143	101,1	15	31,8	9,846	5415,109	18411,372	9099,340
144	102,8	18	32,2	14,443	7943,625	27008,324	952,626
145	103,8	14	32	9,308	5119,297	17405,609	965,217
146	114	13,5	32,5	9,924	5458,020	18557,268	1182,425
147	120	10	34	9,997	5498,231	18693,985	13706,352
148	120,1	18	29,2	18,715	10293,076	34996,458	11790,965
149	120,7	14	33	18,385	10111,703	34379,790	13458,881
150	124,8	19	33	20,017	11009,225	37431,364	1438,877
Moyenne				3,563	1959,448	6662,122	2444,717
Ecart-type				3,913	2151,932	7316,570	3269,536
Somme				534,395	293917,134	999318,257	366707,597

ANNEXE 2 (b) : Données de terrain volume du fût, biomasse de fût et biomasse totale : *Scorodophloeus zenkeri* (divida)

NO	Dhp (cm)	H.fût (m)	H. tot (m)	Volume du fût (m ³)	Biomasse du fût (kg)	Biomasse totale (kg)	$\cong 0,509 \cdot \rho D^2 H$ (kg)
1	13	5,5	16,3	0,112	76,454	259,945	95,346
2	13,1	7	16,5	0,080	54,106	183,960	98,006
3	13,5	10	15,5	0,242	164,618	559,700	97,775
4	14,8	7,5	15,3	0,091	62,049	210,966	115,996
5	15,5	7,5	17,3	0,128	86,945	295,612	143,859
6	15,9	7,5	18,3	0,131	88,984	302,546	160,130
7	17	10,5	18,5	0,171	116,513	396,144	185,053
8	17,3	11,5	24,3	0,222	151,076	513,658	251,724
9	17,8	5,5	18,3	0,104	70,879	240,987	200,686
10	17,9	7,5	20,3	0,161	109,774	373,231	225,128
11	18	8,5	18,7	0,183	124,469	423,195	209,707
12	18,1	9	19,5	0,207	140,448	477,522	221,115
13	18,3	5,5	18,9	0,136	92,286	313,773	219,074
14	19	10,5	18,8	0,223	151,909	516,490	234,905
15	19,1	10,5	20,4	0,255	173,624	590,323	257,587
16	19,3	5,5	17,3	0,120	81,510	277,133	223,042
17	19,9	6,5	19,3	0,182	123,833	421,034	264,539
18	20	5,5	21,3	0,152	103,573	352,150	294,894
19	20,3	8,5	24	0,241	164,175	558,197	342,318
20	20,7	9,5	18,8	0,267	181,221	616,151	278,821
21	21,6	9,5	23,1	0,289	196,491	668,070	373,032
22	22,2	9,5	20,3	0,321	218,140	741,676	346,281
23	22,9	9,5	18,3	0,340	231,472	787,005	332,161
24	23,4	9,5	24,3	0,352	239,349	813,787	460,537
25	24,7	11,5	23,6	0,429	291,816	992,175	498,348
26	25,1	9,5	20,3	0,411	279,443	950,106	442,660
27	25,9	10	24,2	0,430	292,654	995,023	561,877
28	26,4	10,5	19,3	0,491	333,653	1134,421	465,577
29	26,8	7,5	23,3	0,421	286,108	972,768	579,232
30	27,6	10,5	27	0,467	317,492	1079,472	711,883
31	28,1	9	20,2	0,466	316,614	1076,488	552,066
32	28,3	7,5	27,2	0,379	257,781	876,455	753,995
33	28,5	19	26,2	0,816	554,716	1886,034	736,576
34	30	13,5	27,7	0,805	547,596	1861,827	862,877
35	30,3	8,5	19,3	0,542	368,705	1253,598	613,295
36	31,5	11,5	21,4	0,766	521,191	1772,050	734,956
37	33,1	13,5	25,8	0,962	654,103	2223,951	978,368

NO	Dhp (cm)	H.fût (m)	H. tot (m)	VOLUME	BIOMASSE	Biomasse totale (kg)	$\cong 0,509 * \rho D^2 H$ (kg)
				du fût (m ³)	du fût (kg)		
38	33,9	13,5	24,2	1,074	730,192	2482,651	962,590
39	34,4	9	26	0,734	499,343	1697,767	1064,920
40	35,7	10,5	26,3	0,211	143,398	487,553	1160,163
41	36,1	12	23	1,012	688,310	2340,255	1037,454
42	36,1	11,5	27	1,080	734,491	2497,271	1217,881
43	37	11	23	0,988	671,737	2283,906	1089,828
44	37,2	11,5	22,3	1,102	749,381	2547,897	1068,114
45	37,5	12,5	26,3	1,044	710,114	2414,387	1280,103
46	38,2	14	26	1,317	895,249	3043,848	1313,188
47	38,6	10	29	0,993	675,117	2295,397	1495,544
48	41,9	10	26,2	1,085	738,006	2509,219	1592,048
49	42	9,5	26,2	1,395	948,279	3224,148	1599,656
50	42,7	11,5	29,3	1,286	874,684	2973,926	1849,056
51	42,8	15,5	31,4	1,749	1189,649	4044,807	1990,874
52	42,9	8,5	24,3	1,007	684,764	2328,198	1547,917
53	43,1	14	26	1,652	1123,292	3819,192	1671,686
54	44,3	13,5	24,4	1,645	1118,838	3804,048	1657,387
55	45,2	12	29,6	1,532	1041,583	3541,383	2093,126
56	45,8	10,5	23,3	1,404	954,618	3245,702	1694,368
57	47,3	10	26,6	1,486	1010,479	3435,628	2059,826
58	47,4	7	30	1,128	767,086	2608,092	2332,946
59	47,5	11,5	26,6	1,616	1098,851	3736,092	2077,282
60	47,7	8	26,3	1,324	900,170	3060,577	2071,186
61	48,2	13,5	26,3	1,869	1270,992	4321,371	2114,835
62	51	8,5	29,3	1,698	1154,576	3925,557	2637,756
63	51,2	8,5	27,2	1,597	1085,779	3691,647	2467,945
64	51,6	11,5	25,4	2,035	1383,697	4704,571	2340,776
65	51,7	9,5	28	1,633	1110,181	3774,617	2590,394
66	52,3	12,5	30,8	2,147	1459,896	4963,646	2915,955
67	53,1	13,5	31,6	2,227	1514,525	5149,383	3083,918
68	53,2	9,5	28,3	2,011	1367,774	4650,433	2772,276
69	54,4	9,5	31,3	2,059	1399,834	4759,434	3206,039
70	54,9	9	27,9	1,821	1238,463	4210,774	2910,554
71	55	9,5	27	2,140	1454,969	4946,894	2826,935
72	55,6	8	29,6	1,804	1226,474	4170,012	3167,145
73	56,8	11,5	31,7	2,572	1748,982	5946,537	3539,832
74	56,9	10	26,7	2,301	1564,747	5320,140	2992,006
75	57,5	10,5	26,7	2,479	1685,721	5731,451	3055,439
76	57,9	12	25,6	2,734	1858,917	6320,316	2970,461
77	57,9	7,5	31,9	1,766	1200,674	4082,293	3701,472
78	58,1	9	28	2,197	1493,792	5078,892	3271,425

NO	Dhp (cm)	H.fût (m)	H. tot (m)	Volume du fût (m ³)	Biomasse du fût (kg)	Biomasse totale (kg)	$\cong 0,509 \cdot \rho D^2 H$ (kg)
79	58,5	13	28,5	2,854	1940,646	6598,197	3375,851
80	61	10,5	26,5	2,670	1815,897	6174,051	3412,968
81	61,3	13,5	30,3	3,650	2482,067	8439,028	3940,853
82	62,4	6	26,3	1,735	1179,878	4011,584	3544,473
83	62,9	12	31,8	2,982	2027,453	6893,339	4354,669
84	63,5	9,5	29,3	2,820	1917,728	6520,275	4089,232
85	63,6	7	29	2,095	1424,781	4844,256	4060,121
86	63,6	8	27,3	2,358	1603,761	5452,788	3822,113
87	65,3	10,5	29,3	3,031	2060,765	7006,602	4324,348
88	66,3	14	28,9	4,235	2879,816	9791,375	4396,951
89	67,4	11,5	29,4	3,436	2336,463	7943,973	4622,680
90	67,5	13	29,3	4,375	2975,308	10116,048	4620,637
91	67,5	12	29,5	3,890	2645,186	8993,631	4652,177
92	69,1	10,5	26,3	3,393	2306,989	7843,763	4346,489
93	69,1	9,5	27,2	3,096	2105,563	7158,915	4495,228
94	69,8	17,5	34,5	5,542	3768,730	12813,682	5817,771
95	69,9	14	30,1	4,313	2932,595	9970,824	5090,349
96	70,2	9	30,2	3,240	2202,935	7489,979	5151,193
97	70,5	11,5	28,8	4,345	2954,529	10045,400	4954,472
98	70,9	14	31,8	4,727	3214,572	10929,544	5532,817
99	71,5	10	28,3	3,669	2494,597	8481,631	5007,549
100	71,8	8	28	2,892	1966,235	6685,199	4996,129
101	72,1	9,5	29,3	3,259	2216,001	7534,402	5271,872
102	72,3	6,5	28,4	2,551	1734,555	5897,487	5138,326
103	72,4	10	29	4,363	2966,603	10086,450	5261,406
104	72,7	17,5	30,4	6,004	4082,988	13882,159	5561,208
105	73	16	26,6	5,335	3627,916	12334,914	4906,299
106	74,1	12	34,3	4,352	2959,032	10060,710	6518,644
107	74,7	16	30,4	5,824	3960,041	13464,140	5871,397
108	74,7	8	26,5	3,201	2176,744	7400,930	5118,159
109	76	13	29	5,302	3605,498	12258,694	5797,648
110	77,8	11	31	4,365	2968,118	10091,602	6494,528
111	79,5	8	25,6	5,570	3787,563	12877,714	5600,166
112	79,6	14	32,5	5,611	3815,148	12971,502	7127,483
113	80,3	14	30,1	6,084	4137,406	14067,181	6717,757
114	80,4	10,5	31,3	3,766	2560,664	8706,258	7002,984
115	80,5	15,5	31,3	6,719	4568,922	15534,334	7020,415
116	80,7	6	32,1	3,056	2078,381	7066,496	7235,671
117	80,8	11,5	31,3	5,267	3581,635	12177,560	7072,839
118	81,4	9	31,1	4,200	2856,331	9711,524	7132,403
119	82,7	12	31,2	5,215	3546,363	12057,635	7385,711

NO	Dhp (cm)	H.fût (m)	H. tot (m)	Volume du fût (m ³)	Biomasse du fût (kg)	Biomasse totale (kg)	$\equiv 0,509 \cdot \rho D^2 H$ (kg)
120	83,5	16,5	31,4	7,600	5167,909	17570,890	7577,558
121	84,2	14	32	6,870	4671,463	15882,976	7852,372
122	84,4	11,5	30,4	5,939	4038,413	13730,603	7495,234
123	84,6	18	33	10,247	6968,048	23691,363	8174,880
124	85,1	7,5	29,1	4,131	2808,789	9549,883	7294,219
125	85,4	12	31,1	6,213	4225,141	14365,478	7850,600
126	85,4	10	31,6	5,457	3710,737	12616,506	7976,815
127	86,7	8,5	30,5	4,827	3282,319	11159,884	7935,325
128	87	9,5	32,8	5,409	3677,799	12504,517	8592,886
129	89,7	8	27	4,731	3216,788	10937,080	7519,264
7130	90	14	33,5	7,202	4897,642	16651,984	9391,966
131	90,2	8,5	32,3	5,226	3553,690	12082,545	9095,829
132	90,2	7	30,6	4,214	2865,223	9741,758	8617,101
133	90,9	9	30	5,628	3826,991	13011,769	8579,771
134	91,3	13	31,2	7,525	5117,105	17398,159	9001,665
135	91,3	10,5	30,8	6,047	4111,918	13980,520	8886,259
136	92	13	32,5	6,743	4584,931	15588,764	9521,069
137	93,1	10	30,5	6,360	4325,132	14705,449	9150,101
138	94	15,5	33,3	8,731	5937,181	20186,416	10184,193
139	94	11,5	30,3	7,041	4787,928	16278,954	9266,698
140	94,6	14	27	8,450	5745,974	19536,311	8363,205
141	103	10	31	7,715	5246,204	17837,093	11294,919
142	107	15	35	12,729	8655,925	29430,145	13740,229
143	107	10	30,7	8,159	5547,790	18862,487	12165,575
Moyenne				2,837	1928,887	6558,216	3741,171
Ecart-type				2,503	1701,777	5786,043	3143,541
Somme				405,634	275830,837	937824,845	534987,451

ANNEXE 2 (c) : Données de terrain volume du fût, biomasse de fût et biomasse totale : *Gilbertiodendron dewevrei* (limbali)

NO	Dhp (cm)	H.fût (m)	H. tot (m)	Volume du fût (m ³)	Biomasse du fût (kg)	Biomasse totale (kg)	$\cong 0,509 * \rho D^2 H$ (kg)
1	10,3	4	12,2	0,025	16,453	55,941	42,822
2	11	5	13,5	0,038	24,997	84,989	54,044
3	12,1	4,3	14,6	0,030	19,544	66,450	70,722
4	12,8	8	0	0,242	157,237	534,605	116,752
5	13,1	8	15,7	0,100	64,903	220,670	89,140
6	13,8	5,5	14	0,063	40,822	138,794	88,210
7	15,2	9	16,8	0,126	81,802	278,126	128,419
8	15,7	5,5	14,1	0,101	65,825	223,806	114,987
9	16,2	7,8	14,3	0,137	88,929	302,357	124,164
10	17	5,5	14,3	0,093	60,647	206,201	136,730
11	17,1	7	14,5	0,118	76,435	259,880	140,279
12	17,2	8	18	0,128	83,130	282,641	176,182
13	19,5	7	17	0,169	110,146	374,496	213,870
14	19,6	8	20,2	0,176	114,442	389,102	256,741
15	19,8	2	15,7	0,060	38,833	132,034	203,639
16	19,9	6	16,6	0,165	107,049	363,967	217,493
17	20,3	10,5	16	0,287	186,756	634,972	218,144
18	20,6	7	18	0,167	108,804	369,934	252,719
19	20,6	7,5	16	0,196	127,356	433,010	224,639
20	20,9	8	19,3	0,183	118,788	403,880	278,921
21	21	10	22,3	0,180	117,010	397,835	325,368
22	21,2	4	17	0,108	70,042	238,142	252,785
23	23,7	8	20,5	0,088	57,051	193,973	380,962
24	24,1	8	20,5	0,223	144,913	492,704	393,930
25	25,4	7,5	23,3	0,362	235,568	800,930	497,341
26	25,5	10,5	24,3	0,453	294,527	1001,391	522,779
27	27,4	7	27,2	0,322	209,349	711,788	675,618
28	28,4	9	25,1	0,431	280,069	952,235	669,794
29	28,5	12,5	19	0,571	371,111	1261,778	510,593
30	28,7	11,5	29	0,607	394,781	1342,254	790,302
31	29,1	13,5	21,3	0,719	467,304	1588,833	596,756
32	29,5	7	25,8	0,451	293,254	997,062	742,839
33	30,1	8	20	0,326	211,653	719,620	599,507
34	30,5	10	23	0,570	370,298	1259,012	707,878
35	32	10	23,2	0,558	362,567	1232,729	785,994
36	32	6	21,2	0,452	293,710	998,614	718,236
37	32,2	11,5	21,3	0,740	480,708	1634,407	730,672
38	32,2	9	18,7	0,664	431,752	1467,955	641,482

NO	Dhp (cm)	H.fût (m)	H. tot (m)	Volume du fût (m ³)	Biomasse du fût (kg)	Biomasse totale (kg)	$\equiv 0,509 \cdot \rho D^2 H$ (kg)
39	32,9	10	18,4	0,688	447,475	1521,416	658,932
40	32,9	9	21	0,634	412,013	1400,845	752,042
41	33,3	10	24,7	0,731	475,345	1616,173	906,184
42	33,6	12	18,8	0,818	532,016	1808,853	702,211
43	34,9	8,6	24,6	0,458	297,375	1011,075	991,327
44	35,1	10	25	0,692	449,848	1529,482	1019,026
45	36,4	9,5	29,8	0,805	522,988	1778,158	1306,322
46	36,4	7,5	26,6	0,716	465,176	1581,597	1166,046
47	36,5	7,5	21	0,700	455,282	1547,959	925,627
48	36,7	9,5	29,3	0,834	541,823	1842,200	1305,662
49	39,7	6,3	22,3	0,731	474,896	1614,645	1162,832
50	40	9	25,2	1,051	682,987	2322,157	1333,987
51	40,5	8	25,1	0,271	176,312	599,462	1362,119
52	41	9,5	22	1,133	736,219	2503,145	1223,549
53	41,1	10,5	24,9	1,250	812,763	2763,393	1391,599
54	41,3	9	24,8	1,091	709,072	2410,846	1399,532
55	42,5	9,5	27,5	1,183	768,806	2613,940	1643,394
56	42,6	10	27	1,261	819,928	2787,756	1621,116
57	44,8	12	27	2,049	1331,969	4528,693	1792,879
58	45,8	9,5	19	1,369	890,148	3026,502	1318,608
59	46,1	14	24	1,569	1019,948	3467,822	1687,502
60	46,7	9,5	26,6	1,335	867,497	2949,491	1919,316
61	47	10,5	27,8	1,629	1059,073	3600,848	2031,756
62	47,5	9,5	28,7	1,485	965,366	3282,244	2142,398
63	48,1	15,5	28,3	2,443	1588,121	5399,611	2166,246
64	49,1	10	26,5	1,627	1057,430	3595,261	2113,684
65	49,5	9	24	1,762	1145,096	3893,326	1945,597
66	49,9	7	25,5	1,228	797,950	2713,029	2100,741
67	50,6	14	28	2,312	1503,066	5110,423	2371,866
68	50,6	8	31,3	1,452	943,559	3208,101	2651,408
69	51,2	8,5	27,1	1,543	1003,040	3410,334	2350,392
70	51,9	11,5	28,6	2,143	1393,175	4736,796	2548,777
71	53,1	6	29	1,249	811,684	2759,727	2705,317
72	53,5	12	22,8	1,807	1174,489	3993,264	2159,104
73	53,9	10	30,5	1,838	1194,565	4061,521	2931,626
74	54	8	24	1,304	847,764	2882,397	2315,421
75	54,5	12	26,8	2,436	1583,637	5384,364	2633,655
76	55,5	7,5	27,3	1,657	1076,812	3661,161	2782,145
77	56	9	28	2,110	1371,627	4663,531	2905,128
78	56,1	8	26,8	1,787	1161,853	3950,299	2790,562
79	56,5	10	24	2,003	1301,855	4426,306	2534,774

NO	Dhp (cm)	H.fût (m)	H. tot (m)	Volume du fût (m ³)	Biomasse du fût (kg)	Biomasse totale (kg)	$\equiv 0,509 * \rho D^2 H$ (kg)
80	58	4,5	23,9	1,138	739,831	2515,427	2660,021
81	58,2	9	28,4	2,233	1451,152	4933,917	3182,698
82	59,5	7,5	28,3	2,026	1316,880	4477,392	3314,756
83	59,7	10	27	2,503	1626,979	5531,730	3183,784
84	60,2	8	21,5	2,094	1361,041	4627,539	2577,879
85	60,7	13,5	31,8	3,465	2252,512	7658,540	3876,463
86	60,7	7,5	30	1,923	1250,263	4250,893	3657,041
87	61,1	10	27	2,740	1780,872	6054,964	3334,858
88	61,3	11,5	29,2	3,144	2043,430	6947,662	3630,237
89	61,8	14	28,9	3,836	2493,465	8477,782	3651,791
90	63	10	25,7	2,730	1774,682	6033,918	3374,779
91	64,3	11	25,5	3,071	1996,102	6786,746	3488,135
92	66	9	26	2,696	1752,703	5959,191	3747,075
93	67,5	10	31	3,076	1999,433	6798,073	4673,049
94	67,5	9	29	3,010	1956,193	6651,057	4371,562
95	67,6	11	28,4	3,231	2100,055	7140,185	4293,810
96	68,4	12	29,2	3,854	2505,220	8517,748	4519,873
97	68,5	10,5	30,3	3,192	2074,634	7053,757	4703,866
98	69,1	7	26	2,564	1666,658	5666,638	4107,339
99	69,3	7	30,4	2,564	1666,658	5666,638	4830,268
100	69,9	11,5	29,8	3,825	2486,574	8454,350	4817,278
101	69,9	11	29,9	3,676	2389,334	8123,737	4833,444
102	70,3	12	32	4,113	2673,637	9090,365	5232,290
103	70,3	10	20,8	3,602	2341,168	7959,971	3400,988
104	71,3	5,5	27,5	2,082	1353,583	4602,184	4625,332
105	71,7	12	24,9	4,436	2883,686	9804,531	4235,150
106	73,2	14	32,2	4,821	3133,337	10653,346	5708,331
107	73,6	15,5	32,3	5,838	3794,737	12902,104	5788,810
108	75,3	13,5	30,2	5,135	3337,537	11347,627	5665,367
109	75,9	12	30	4,872	3166,507	10766,125	5717,892
110	76,5	10	29	4,214	2739,212	9313,319	5615,029
111	76,5	11	34,2	4,603	2991,684	10171,725	6621,862
112	77,9	14	27	5,252	3413,533	11606,014	5420,880
113	78,4	14	32	5,262	3420,260	11628,884	6507,486
114	78,6	14	35	5,705	3708,234	12607,995	7153,923
115	78,8	11,5	29	4,893	3180,266	10812,903	5957,740
116	79	9	26	4,278	2780,882	9454,998	5368,571
117	79,2	8	27	3,431	2230,311	7583,057	5603,318
118	80,9	12	35	5,636	3663,220	12454,947	7578,726
119	81,3	10	31,5	4,890	3178,185	10805,830	6888,470
120	82,4	15,5	33,7	6,505	4228,213	14375,923	7570,341

NO	Dhp (cm)	H.fût (m)	H. tot (m)	Volume du fût (m ³)	Biomasse du fût (kg)	Biomasse totale (kg)	$\equiv 0,509 \cdot \rho D^2 H$ (kg)
121	83,5	16	29	6,128	3982,990	13542,165	6689,630
122	84	7,5	32,8	4,151	2698,313	9174,263	7657,087
123	84,1	8,5	30	4,515	2934,897	9978,649	7020,118
124	85,3	10	29	5,328	3463,432	11775,669	6981,154
125	85,4	13	29,7	6,682	4343,148	14766,702	7166,438
126	85,8	14	34,5	6,911	4491,918	15272,521	8402,815
127	85,8	10	35,3	5,473	3557,691	12096,149	8597,663
128	88	12	28,8	5,503	3577,225	12162,563	7378,855
129	88	9	28,8	4,692	3049,882	10369,598	7378,855
130	89	8	26,5	4,730	3074,667	10453,868	6944,757
131	89,1	13,5	34,8	7,153	4649,523	15808,377	9140,412
132	89,9	7,5	28,3	4,586	2981,123	10135,817	7567,230
133	90	8	33,8	4,686	3045,581	10354,974	9058,011
134	91,3	9	34,5	5,211	3387,239	11516,612	9514,627
135	92,2	14	29	6,394	4155,815	14129,772	8156,258
136	92,2	16	32,7	8,522	5539,174	18833,191	9196,885
137	92,8	6,5	29,8	4,258	2767,507	9409,524	8490,697
138	93	12	26	7,339	4770,313	16219,063	7439,956
139	93,8	9	30	5,711	3712,382	12622,098	8732,892
140	94,1	11	33	6,935	4507,997	15327,190	9667,726
141	94,5	14	37,4	8,426	5477,014	18621,848	11050,104
142	95	11	32	7,358	4782,651	16261,012	9554,948
143	95,9	8	31	5,494	3571,242	12142,222	9432,570
144	96,6	9	32	5,731	3725,278	12665,947	9879,509
145	98,5	13	35	8,639	5615,188	19091,641	11234,963
146	99,4	12	27,6	8,600	5590,133	19006,451	9022,211
147	99,5	18	37	7,765	5046,967	17159,687	12119,342
148	99,6	11	31,8	7,830	5089,709	17305,011	10437,030
149	100	11	30	7,284	4734,401	16096,964	9925,500
150	100	12	26	8,966	5828,187	19815,836	8602,100
151	101	10,5	33,3	7,536	4898,131	16653,645	11238,753
152	106	12	35,6	9,073	5897,584	20051,784	13109,498
153	110	13	34,8	9,444	6138,434	20870,677	13880,818
154	110	12	29	5,807	3774,421	12833,033	11567,348
155	110	14	31,3	11,237	7303,727	24832,672	12530,282
156	116	12	32	10,374	6742,986	22926,153	14246,136
157	118	9	31	9,460	6148,900	20906,260	14184,286
158	119	10	34	9,582	6228,463	21176,773	15849,351
159	121	13	33,7	11,316	7355,468	25008,592	16324,195
160	122	6,2	30	7,292	4739,671	16114,881	14748,906
161	122	12	32	11,548	7506,394	25521,739	15757,988

NO	Dhp (cm)	H.fût (m)	H. tot (m)	Volume du fût (m ³)	Biomasse du fût (kg)	Biomasse totale (kg)	$\equiv 0,509 * \rho D^2 H$ (kg)
162	123	14,5	30,9	13,719	8917,035	30317,919	15466,778
163	128	9	29	9,869	6415,079	21811,269	15597,303
164	128	16	35	17,404	11312,875	38463,775	19061,299
165	130	9	33	9,091	5909,165	20091,161	18451,505
166	144	10	34,5	14,112	9172,567	31186,728	23570,227
Moyenne				3,468	2254,000	7663,599	4764,221
Ecart-type				3,363	2185,712	7431,422	4707,442
Somme				575,637	374163,955	#####	790860,639

ANNEXE 3 (a) : Données climatiques de Kisangani de 1987-1996 (Nshimba 2008)

TTT : Température mensuelle (°C)

UU : Humidité relative mensuelle (%)

RR : Précipitations mensuelles (mm) ; Moy A : moyenne annuelle

Année	Eléments	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
1987	TTT	25	25	25,4	25,9	25	24,7	24	24,2	24,2	24,6	24,4	24,8	24,7
	UU	83	82	80	79	80	82	79	77	83	84	86	85	81,6
	RR	58	179	126	64,2	241	112	97	79,6	216,6	194	388	184,4	161,6
1988	TTT	23	25	25,3	24,9	25	24,5	24	23,3	23,4	24	23,6	24,2	24,1
	UU	83	81	84	85	87	84	87	88	86	85	88	84	85,2
	RR	62	92	164	156	175	59	108	266	209	376	210	165,1	170,2
1989	TTT	23	25	24,7	24,9	24	24	24	22,8	24,1	24,3	24,3	24	24
	UU	75	78	80	83	84	84	85	87	83	85	85	83,1	83
	RR	11	80	110	124	125	102	51	118	296,2	196	104	121,6	120,1
1990	TTT	25	26	25,6	25,8	25	25,2	25	25,2	25,2	25,4	25,1	25,5	25,3
	UU	82	82	83	83	85	86	88	88	85	86	86	85	85
	RR	42	98	216	70,9	47	79,6	125	89	116	179	178	234,6	129,3
1991	TTT	24	25	25,4	25,3	26	24,7	24	23,3	23,7	23,1	23,9	24,4	24,2
	UU	79	77	81	84	86	87	88	87	87	88	85	85	85
	RR	44	115	147	137	109	81,1	59	54,4	181,4	293	167	108	124,8
1992	TTT	22	25	25,9	25,2	25	24	23	23,5	24	23,8	24,2	24,6	24,2
	UU	79	72	76	84	85	87	90	88	86	87	87	84	84
	RR	35	74	101	212	195	61	120	76,4	337,5	220	153	67,5	149,4
1993	TTT	24	25	25,2	25,1	25	24,4	24	23,5	24,4	25	24,8	25	24,6
	UU	80	76	83	84	84	87	88	88	84	83	87	86	84
	RR	88	109	162	142	224	210	114	286	145,6	213	279	153,2	177,2
1994	TTT	25	25	25,9	25,1	25	24,1	24	23,6	24,2	23,9	24,4	24,7	24,4
	UU	84	85	79	85	85	90	90	87	87	87	87	84	85,8
	RR	178	133	53,7	239	199	157	73	92,1	334,8	280	279	126,3	178,7
1995	TTT	25	26	26	25	25	24,9	24	24	24,4	24,4	24,8	24,8	24,8
	UU	83	82	82	87	87	86	88	86	87	88	86	86	85,5
	RR	39	144	112	306	241	190	141	98	250,2	344	384	265,3	209,6
1996	TTT	25	25	25	25,4	25	24,6	24	23,7	24,2	24,6	24,7	24	24,6
	UU	88	84	87	84	86	88	88	88	86	86	87	90	86,8
	RR	98	226	489	140	261	166	201	111	162,8	330	281	106,4	214,3

ANNEXE 3 (b) : Moyennes mensuelles de précipitations (PPm en mm) et de températures (Tm en °C) de la région de Kisangani (source : Nshimba 2008)

Paramètres	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
PPm	69,5	99,9	144,3	171,3	178,7	128,8	95,9	130,4	204,1	237,4	216,2	106,2	1782,7
Tm	24,4	25,1	25,3	25,1	24,7	24,3	23,7	23,5	24	24,2	24,5	24,4	24,4