

UNIVERSITE DE KISANGANI
FACULTE DES SCIENCES AGRONOMIQUES
(F.S.A)



B.P 2012 / KISANGANI

**Contribution à l'élaboration d'un tarif de cubage
d'*Entandrophragma cylindricum* (Sprague) Sprague
dans la concession forestière de FORABOLA, Territoire
de Basoko (Province Orientale, RD Congo)**



Par

Innocent Mbula Mekando

TRAVAIL DE FIN D'ETUDES

Présenté et défendu en vue de l'obtention
de grade d'Ingénieur Agronome

Option : Eaux et Forêts

Encadreur : Ass. Ir. Assumani Angbonda

Directeur : Prof. Dr. Ir. Sindani Kómánda

ANNEE ACADEMIQUE 2008 – 2009

DEDICACE

A toi Dieu tout - puissant, le créateur des cieux et de la terre pour ta bienveillance ;

A ma mère Marie MWAMINI ;

A ma bien aimée Blandine BILENDE LOKENDO, pour ton affection, ta patience et ton courage, je suis de cœur avec toi ;

A mes frères et sœurs : Patrick AKWETE, Rufin AFATAYAKA, Toussaint MBULA, Bernadette MWAMINI ;

A ma regrettée grand-mère Angel MBULA dont jamais son absence ne pourra éteindre la flamme de mon amour envers elle.

Je dédie ce travail

Innocent MBULA MEKANDO

AVANT - PROPOS

La patience est amère, mais son fruit est doux ; il a fallu force, courage et persévérance pour aboutir à cette œuvre.

Au terme de notre travail de fin d'études universitaires , qu'il nous soit permis de rendre grâce à l'éternel Dieu des armées, car sans lui , nous ne pourrions rien faire.

Nos remerciements s'adressent à toutes les autorités décanales et personnels administratifs de la Faculté des Sciences Agronomiques pour nous avoir accompagné jusqu'au bout de notre formation dans ladite Faculté.

Nos sentiments de reconnaissance s'adressent au Professeur docteur Ir. Sindani Komanda, pour avoir accepté de diriger ce travail ;

Nous rendons hommage à l'Assistant Ir. Assumani Angbonda, lui qui, en dépit de ses multiples occupations et par sa bienveillance notoire a accepté de prendre l'encadrement de ce travail. Ses remarques et conseils nous ont façonné d'avantage ;

Nous pensons à tous les Professeurs, chefs de travaux et Assistants des Faculté des Sciences Agronomiques et Faculté des Sciences qui dans les conditions inacceptables disposent de leur temps dans le souci de former la jeunesse ;

Nos remerciements s'adressent également à toute la promotion des Eaux et Forêts / UNIKIS pour une franche collaboration et esprit de travail en équipe ;

Que tout ceux enfin , parent , amis et connaissances, d'une manière ou d'une autre nous ont assisté de leur soutien tant moral que matériel et avec qui nous avons partagé notre joie et peine , trouvent ici l'expression de notre sincère reconnaissance , nous pensons plus particulièrement à Willy Tenalo, Alpha Konyele , Jean Marie Owediongo, Péguy Amisi, Germaine Dema, Bibiche Afosemwa, famille Kim Bwama , famille Mosala , famille Ankwanda pour leurs contributions.

Innocent Mbula Mekando

RESUME

Le présent travail a pour but d'élaborer un tarif de cubage de sapelli (*Entandrophragma cylindricum*) dans la concession forestière de FORABOLA, chantier Lileko, Territoire de Basoko (Province Orientale, RDC).

L'élaboration de ce tarif de cubage s'est faite à l'aide d'un échantillon de 50 grumes d'*Entandrophragma cylindricum* dont le diamètre à chaque 2m de la grume, la longueur du fut ont fait l'objet de calcul de volume individuel des grumes.

Après analyse des équations de régression et les tests statistiques, nous avons retenu le modèle puissance ($y = 0,006286x^{2,10055254}$) comme l'équation de tarif de cubage.

Il s'agit ici d'un tarif local à une entrée pour l'essence étudiée et n'est applicable que pour les tiges de Dhp variant entre 60 et 159cm, pour la zone inventoriée et pour les arbres sur pieds.

SUMMARY

This work aims to develop a scaling rate of Sapelli (Sapelli) in the forest concession FORABOLA, construction Lileko, Territory Basoko (Province Orientale, DRC). The development costs of this scaling was done using a sample of 50 logs of Sapelli in diameter 2m each of the log, the length was made the subject of volume calculation individual logs. After analysis of regression equations and statistical tests, we used the power model ($y = 0.006286 X^{2,10055254}$) as the equation rate scaling. This is a local rate to an entry for the studied species and is applicable only for stem dbh ranging between 60 and 159cm for the inventory area and the trees on foot.

LISTE DES ABREVIATIONS

Af : Climat humide et chaud.

ATIBT : Association internationale des Bois tropicaux.

C.T.F.T : Centre Technique de Foresterie Tropicale.

DHP : Diamètre à la Hauteur de la Poitrine.

FORABOLA : Compagnie forestière et agricole de M'bola.

FRM : Forest Ressource Management.

GPS : Global Position System

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques des équations de régression	25
Tableau 2 : Equation de tarif de cubage des différents modèles de régression.....	26
Tableau 3 : Appréciation de la qualité d'ajustement par test X^2	27
Tableau 4 : Ecart-type résiduel, coefficient de variation résiduelle, et intervalle de confiance	28
Tableau 5 : Equation de régression retenue	29
Tableau 6 : Barème de cubage spécifique de Sapelli (<i>Entandrophragma cylindricum</i>).....	30
Tableau 7 : Comparaison des caractéristiques du tarif de cubage de Sapelli avec ceux des autres provinces de la RDC.....	31
Tableau 8 : Comparaison des volumes obtenus au moyen de différents tarifs de cubage spécifiques.....	33

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Protocole de cubage des arbres abattus	17
Figure 2 : Variation des valeurs de hauteur fût	24
Figure 3 : Relation entre le DHP et le volume	30



0. INTRODUCTION

0.1. Problématique

Les forêts tropicales humides occupent près de 4 milliards d'hectares, soit environ un-tiers des terres émergées. En outre, elles renferment deux-tiers de la biomasse de forêts du monde (FRM, 2006).

Ces forêts subissent des pressions de diverses formes qui conduisent à la dégradation, à la déforestation notamment au réchauffement climatique entraînant une perte considérable de la biodiversité.

Pour faire face à ces processus de menace sur les forêts par appauvrissement de la matière ligneuse, les évaluations exactes des ressources forestières permettront, non seulement de relever l'économie nationale mais aussi de pérenniser ces ressources (Biguma, 2006).

C'est par ces évaluations quantitatives que les concessionnaires, les gestionnaires du secteur du bois peuvent connaître la possibilité en bois d'œuvre ou d'énergie avant de décider sur la finalité de celui-ci et même avant l'octroi d'une concession forestière (Anonyme, 2002).

La détermination aussi exacte que possible de cette quantité doit donc apparaître comme essentielle à tous forestiers. Malheureusement, ce problème ne semble pas avoir été étudié avec l'urgence qu'il mérite dans le domaine des forêts tropicales. Le petit nombre d'études faites sur cette question témoigne du peu d'intérêt qu'ont pu lui apporter les forestiers sans doute préoccupés par d'autres tâches plus absorbantes (Lanly, 1965).

Les connaissances sur les écosystèmes forestiers méritent d'être actuellement approfondies et diversifiées pour permettre une meilleure prise de décisions en vue de la gestion rationnelle et durable des ressources naturelles. Les évaluations du volume de bois deviennent un des besoins permanents des forestiers responsables de la gestion du massif forestier au monde. La recherche de méthodes simples d'estimation des volumes reste un engin fondamental sur le plan de la gestion forestière.

En ce sens, les tarifs de cubages présentent un intérêt particulier car ils permettent d'estimer le volume d'un arbre ou de peuplement, réduisant ainsi le nombre de mesures individuelles superflues.

Le Sapelli (*Entandrophragma cylindricum*) est une espèce particulièrement appréciée par les exploitants forestiers pour sa valeur économique. Sa valeur commerciale est actuellement très importante et son exploitation est considérablement accrue ces dernières années. En outre, l'examen des principales essences prélevées en 2007 par l'exploitation industrielle en République Démocratique du Congo place le Sapelli au premier rang avec 60 910 m³ de grumes, ce qui représente à elle seule 19,6% de prélèvement (MECNT-FORAF, 2008).

Le problème qui se pose dans le cadre du présent travail est celui de la détermination d'un tarif de cubage de Sapelli (*Entandrophragma cylindricum*) dans la concession forestière de FORABOLA/ Territoire de Basoko en vue d'une gestion rationnelle et durable de ces ressources forestières.

Ce mémoire permettra de répondre aux questions suivantes :

- Existe-t-elle une relation entre le diamètre à hauteur de poitrine et le volume fût de Sapelli ? Cette relation peut-elle être traduite par un modèle de régression ?
- En outre, le tarif de cubage de Sapelli suivrait-il le même modèle que ceux d'autres provinces de la RDC ?

0.2. Hypothèses

Pour bien mener cette étude, nous formulons deux hypothèses.

- Il existe une relation entre le volume fût et le diamètre à hauteur de poitrine de Sapelli, et cette relation est traduite par un modèle de régression de type puissance ;
- Le tarif de cubage de Sapelli (*Entandrophragma cylindricum*) suit un même modèle de régression que les tarifs de cubage d'autres provinces de la RDC.

0.3. Objectifs

0.3.1. Objectif général

L'approche de cette étude vise à élaborer un tarif de cubage local pour l'espèce Sapelli (*Entandrophragma cylindricum*) dans la concession forestière de FORABOLA dans le territoire de Basoko.

0.3.2. Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques de la présente étude sont les suivantes :

- Connaitre la relation qui existe entre le diamètre à hauteur de poitrine et le volume fût ;
- Comparer le tarif de cubage de Sapelli (*Entandrophragma cylindricum*) de la concession forestière de FORABOLA/ Territoire de Basoko à ceux d'autres provinces de la RDC ;
- Déterminer les caractéristiques dendrométriques (Dhp, Dfb, Hf) de tiges qui influencent le volume.

0.4. Intérêts

a) Intérêt scientifique

Cette étude apporte une contribution scientifique sur le plan de la gestion globale des écosystèmes forestiers en se basant principalement aux essences de bois d'œuvre.

b) Intérêt pratique

Cette étude trouve son intérêt pratique auprès des utilisateurs qui sont les exploitants forestiers, les industriels, les gestionnaires, les aménagistes et les sylviculteurs. Ils auront à leur disposition un outil approprié pour lire le volume d'un arbre connaissant son diamètre.

0.5. Subdivision

Hormis l'introduction, ce travail comprend quatre chapitres :

- Le premier chapitre traite des généralités ;
- Le deuxième chapitre est consacré aux matériel et méthodes ;
- Le troisième chapitre, présente les résultats ;
- Le quatrième chapitre discute les résultats ;

Enfin, une conclusion et quelques recommandations clôturent ce modeste travail.

Premier Chapitre : GENERALITES

1.1. Milieu d'étude

1.1.1. Situation géographique

La société forestière et agricole de M'bola (FARABOLA en sigle), est située dans la Province Orientale, District de la Tshopo, Territoire de Basoko, Collectivité Bangelema-mongandjo à 110km de la cité de Basoko (Chef lieu du territoire) et 146 Km de la ville de Kisangani (Chef lieu de la Province Orientale).

La concession 11/03 est située à l'Est de la République Démocratique du Congo sur la rive droite du fleuve Congo. Ce massif forestier s'étend entre les latitudes 0° 9' et 1° 20' Nord et les longitudes 20' 00' et 24° 50' Est et est intégralement inclus dans la Province Orientale, à cheval entre les territoires de Basoko et de Banalia (Kyanga, 2008).

Le massif est limité :

- Au Nord par la rivière Aruwimi, portion comprise entre le confluent de l'Aruwimi et du fleuve Congo et la rivière Bulambe ;
- Au Sud par le fleuve Congo, et limite administrative entre les territoires de Basoko et d'Isangi ;
- A l'Est par la rivière Bulambe ;
- A l'Ouest par le fleuve Congo.

1.1.2. Sol

Comme la plus part de sols des régions tropicales, le sol de Lileko est du type ferrallitique dénaturé et appauvri. Formés sous la forêt dense ombrophile, ils sont très profonds. (Makana, 1994). Ils sont formés d'éléments fins : sables, argiles et limon. Ce sol est généralement acide, son potentiel d'hydrogène oscille autour de 4,5.

1.1.3. Climat

Le chantier Lileko bénéficie du climat équatorial humide du type Af d'après la classification de Köppen. Ce climat est caractérisé par des températures moyennes annuelles égales à 25°C. Le total de précipitations moyennes annuelles est élevé autour de 1500 à 1800mm (Nyakabwa, 1976).

1.1.4. Végétation et faune

La végétation de la concession 11/03 de FORABOLA Territoire de Basoko est constituée des forêts denses ombrophiles sempervirentes qui en constituent le climax. Pour les terres fermes, les forêts ayant caractérisé la couverture végétale ancienne serait la forêt climacique à *Gilbertiodendron dewevrei*.

La concession abrite d'importante population faunique entre autre : des grands et petits mammifères tels que chimpanzé, antilope, porc-épieu, et bien plusieurs espèces des singes. A cela ajoutons également quelques reptiles comme les tortues, les pangolins et les serpents (Kyanga, 2008).

1.2. Milieu humain

1.2.1. Population

La concession 11/03 de FORABOLA se trouve dans les forêts de la tribu Ngelema. La population de cette contrée est représentée par le groupement Mongandjo, qui vit le long de la route à côté de ces forêts. Elle a comme activités principales l'agriculture et la cueillette (Botobi, 2008)

1.3. Généralités sur *Entandrophragma cylindricum* (Sprague)

1.3.1. Dénomination

- Scientifique : *Entandrophragma cylindricum*,
- Commerciale : Sapelli,
- Locales ou vernaculaires :

- Ghana : Penkwa (Fanti)
- Ouganda : Muyovu (Liinyoro)
- Angola : Lifuti
- République Démocratique du Congo : Alifi (Kisangani)
- Congo : Lifaka
- Gabon : Asi, diloko, monnianguila
- Cameroun : Assié, boyo
- R.C.A : M'boyo
- Nigéria : Penka
- Côte d'ivoire : Aboudikro (Tailfer, 1989).

1.3.2. Description botanique

Espèce : *Entandrophragma cylindricum* (Sprague)

Famille : Meliaceae.

Les caractéristiques de l'espèce sont les suivantes :

❖ Port

Arbre à feuilles caduques atteignant 50m de haut et 250cm de diamètre. Cime en dôme, bien développée. Feuilles groupées à l'extrémité des rameaux.

❖ Fût

Droit, cylindrique, ou avec méplats, à la base légèrement épaissie ou à contreforts concaves plus ou moins ramifiés, peu élevés (2 - 5m).

❖ Ecorce

Gris-brun, d'abord lisse, superficiellement fissurée et à lenticelles brunes dispersées ou disposées en lignes verticales, puis plus ou moins rugueux et se desquament en plaques irrégulières, épaisses. Tranche épaisse de 1,5 - 2,5cm. Couche externe fibroscloreuse, à petites concrétions arrondies, rose-violet veinée plus clair ; couche interne fibreuse, jaune crème flammé rose-rouge. Couleur de la tranche virant rapidement à brun-roux.

Coupe tangentielle marbrée de veines claires, virant au brun sur fond rose-violet dans la partie externe et à fond clair veiné rose-rouge dans la partie interne. Odeur typique prononcée de cédrelat. Aubier blanc-rose, mi-dur.

❖ Feuilles

Paripennées, alternes. Pétiole et rachis long 20 – 50cm. Pétiole élargi à la base, plus ou moins canaliculé, à bords latéraux ailés, glabre ou pubérulent roux, long de 5 - 10cm. Rachis plus ou moins canaliculé, pubérulent roux, long de 15-40cm. Pétiolule robuste, canaliculé, long de 2 – 6mm. 5 – 9 paires de folioles opposées à sub-opposées. Limite elliptique à ovale-oblong, 6 - 15cm /2-5cm, abruptement pourvu d'un acumen obtus au sommet, cunéiforme à arrondi et asymétrique à la base, papyracé, pourvu de domaties à l'aisselle des nervures secondaires. Nervures primaire et secondaire saillantes en dessous, pubescentes sur les deux faces. 6 – 12 paires de nervures secondaires camptodromes, reliées près de la marge. Réticulation tertiaire bien visible.

❖ Fleur

En panicules axillaires, hermaphrodites, petites, vert jaunâtre.

❖ Fruits

Capsules fusoïdes, 7 – 15 – (22) cm /1,5-4cm, à 5 valves ligneuses, déhiscentes par le sommet, noires. 3-5 graines ailées par loges sur columelle centrale.

❖ Bois

Aubier gris rosâtre, mince. Duramen brun-rose fonçant à brun-rouge, rubané, mi-dur, mi-lourd, à grain assez fin, peu nerveux (Gauthier, 1997).

1.3.3. Caractères physiques, mécaniques et technologiques (Vivien et Faure, 1985)

1.3.3.1. Caractères physiques

Le Sapelli apparaît en général comme un bois mi-lourd ; sa dureté est variable, mais on le classe toujours dans la catégorie des bois mi-durs, moyennement nerveux.

Son retrait volumétrique total est moyen. Il en est de même pour le coefficient de rétractibilité volumétrique. Les rétractibilités linéaires sont moyennes et leur rapport n'est pas élevé.

L'hygroscopicité à l'air du Sapelli est légèrement supérieure à la moyenne. Il apparaît cependant, une fois séché, comme un matériau relativement stable lorsque les variations de température et l'humidité ne sont pas excessives. Il se stabilise normalement suivant les conditions dans lesquelles il se trouve, dans les conditions correspondant au climat tempéré, l'humidité du bois « sec à l'air » se situe aux environs de 12%.

1.3.3.2. Caractères mécaniques

Les résistances en cohésion transversale (Fendage, traction perpendiculaire aux fibres, cisaillement) sont moyennes, et même assez fortes en cisaillement.

Les résistances en cohésion axiale sont très bonnes pour la compression et la flexion statique ; le module d'élasticité est assez élevé et dépasse nettement $100 \cdot 10^8 \text{Pa}$; elles sont médiocres en flexion dynamique où le bois de Sapelli apparaît comme résistant mal au choc et cassant.

1.3.3.3. Caractères technologiques

Le bois parfait de Sapelli possède une durabilité naturelle moyenne qui est suffisante pour que dans les emplois modérément exposés à une dégradation par pourriture(par exemple, en menuiseries extérieures), et sous réserve d'une mise en œuvre convenable, sa conservation soit satisfaisante et n'exige pas impérativement l'application d'un traitement de préservation ; par contre, dans des situations très exposées, favorables au maintien du bois à une humidité élevée, le Sapelli risque d'être altéré gravement et assez rapidement, c'est le cas, par exemple, d'emplois au contact du sol ou d'une source fréquente d'humidité. En outre, en régions termitées, il court un risque supplémentaire de destruction, sa résistance aux attaques des termites n'étant, en général, que moyenne.

Le Sapelli est un bois qui sèche assez lentement, tant à l'air qu'artificiellement. Les risques de fente sont faibles.

1.3.4. Habitat et provenance

Disséminé en Afrique, dans la forêt dense humide, cette essence existe depuis la Côte d'Ivoire jusqu'en Ouganda (où elle est toutefois très localisée près du lac Victoria) ; vers le Sud, son aire englobe les forêts du Mayombe (Vivien et Faure, 1985). Le Sapelli est une essence de forêt dense semi-décidue ; il se rencontre presque jusqu'à la lisière de la forêt dense, à la limite de la savane ou de la forêt claire.

Tous les pays forestiers de la côte occidentale d'Afrique exportateurs de bois produisent du Sapelli : Libéria, Côte d'Ivoire, Ghana, Nigéria, Cameroun, Centrafrique, Gabon, Congo, République Démocratique du Congo. En particulier le Cameroun dans sa partie orientale et la République Centrafricaine en possèdent de grosses réserves (Lanly, 1974).

1.3.5. Caractères du rondin

1.3.5.1. Densité à l'état vert-flottabilité

Dans les divers pays producteurs, le Sapelli est considéré comme un bois flottable. Pour le transport maritime, les conférences des lignes de navigation rangent le Sapelli dans la catégorie des bois dont les densités sont comprises entre 0,700 et 0,880. Cela montre l'utilité de radeaux dont les billes sont solidement maintenues ensemble.

1.3.5.2. Reconnaissance des rondins de tranchage

On peut distinguer suivant le dessin du bois deux groupes de Sapelli de tranchage : les Sapelli figurées (moiré, ondé, pommelé) et les Sapelli rayonnés. On peut, dans une certaine mesure reconnaître les Sapelli moirés ou pommelés sur pied : leur écorce présente de petites « bosses » serrées les unes à côté des autres et régulièrement réparties sur toute la surface du tronc. Il ne faut donc pas cependant trop se fier à cet aspect. Une grume peut être figurée très superficiellement, la « pomme » ne se présente alors que sur quelques centimètres d'épaisseur, le reste du bois étant plat et sans figure. Cette reconnaissance sur pied est donc aléatoire (Lanly, 1974 op cit).

1.3.6. Aspect du bois débité

Le bois est brun rosé, fonçant à l'air au brun rouge cuivré. L'aubier est distinct et bien limité, de couleur gris rosâtre, en général peu épais, mais atteignant parfois 8cm d'épaisseur.

Le grain est plutôt fin. Le bois présente, le plus souvent, un contrefil en couches étroites qui donne aux débits sur plein quartier un aspect rubané très régulier en ébénisterie. Parfois aussi, le fil est tourmenté, les débits sont alors plus ou moins richement moirés, pommelés, drapés ou chenillés. Enfin, les fourches peuvent donner des feuilles de placages richement figurés. Les débits sur dosse sont ramageux (Lanly, 1974).

1.3.7. Structure du bois

Le parenchyme se détache souvent sur le fond fibreux et présente dans les plus larges cernes trois dispositions caractéristiques : associé aux pores et à peine distinct à la loupe, puis circumvasculaire aliforme plus ou moins anastomosé et bien distinct, enfin en fines couches tangentiels apparentes à la limite des anneaux ligneux. Les pores sont de taille moyenne en nombre variable et assez uniformément répartis. Les ponctuations inter-vasculaires et les ponctuations vaisseau-rayon sont très fines. Les rayons sont disposés fréquemment en lignes étagées, petits, larges de 3 à 5 cellules, presque homo-cellulaire avec une rangée terminale de cellules carrées contenant souvent des cristaux. Les fibres ont une longueur moyenne de 1700 microns, une largeur moyenne de 25 microns, et leur coefficient de souplesse est d'environ 65 (Lanly, 1974 op.cit).

1.3.8. Utilisation

Le Sapelli est resté pendant longtemps un bois d'ébénisterie, massive ou plaquée, de menuiserie fine apparente et de décoration.

Il est très apprécié en tranchage et les billes figurées ou rayonnées sont toujours réservées à la production de placages tranchés.

Les placages de Sapelli figurés : moirés, ondés, pommelés, etc. sont utilisés pour des ensembles décoratifs. Tranchés sur quartier, les bois rayonnés sont très recherchés pour la fabrication de meubles plaqués, de contreplaqués d'ébénisterie eux-mêmes utilisés pour l'agencement et la décoration (magasin, bureaux, etc.).

Le Sapelli est également déroulé et employé en contreplaqué pour la menuiserie et la fabrication de portes planes.

Les bois non figurés sont utilisés en menuiserie intérieure de bâtiment et de plus en plus en menuiserie extérieure au même titre que le sipo. De même teinte, un peu plus dur, ses

résistances mécaniques sont légèrement supérieures à celles du Sipo. Sa durabilité est comparable. Présentant assez souvent des toutes déformations ultérieures. Le Sapelli peut convenir à la fabrication de parquets, constructions nautiques et emplois mobiles (Vivien et Faure, 1985 ; Tailfer, 1985).

1.4. Tarif de cubage

1.4.1. Définition

Un tarif de cubage est un tableau chiffré, une formule ou un graphique qui donne une estimation d'un volume d'un arbre ou d'un ensemble d'arbres (peuplements) en fonction de diverses variables qui sont les entrées du tarif. Ces entrées sont caractéristiques de l'arbre (diamètre, hauteur moyenne, hauteur dominante...) (CTFT, 1956 ; Bouchon, 1974).

Le tarif de cubage est aussi défini comme étant un tableau qui donne le volume d'un arbre (variable dépendante) avec ou sans écorce en fonction d'un ou plusieurs paramètres alors appelés variables (Mabiala et Kandaka, 1981).

1.4.2. Sortes de tarifs de cubage

D'une manière générale, il existe deux sortes de tarif de cubage (Chauvet, 1968) :

- Le tarif de cubage des arbres ;
- Le tarif des peuplements.

1.4.2.1. Le tarif de cubage des arbres

Le tarif de cubage des arbres est un tableau qui sert à estimer le volume d'un arbre pris individuellement. Ce tarif peut être à une entrée quand il exprime différents types de volume des arbres en fonction d'une seule mesure (circonférence ou diamètre à 1,50m ou à 1,30m). On l'appelle tarif local ou tarif spécifique (Anonyme, 1976). Il est souvent du type $V = a + b D^2$ avec a, b : constances ; D : Dhp.

Ce tarif est aussi à multiples entrées, parfois aussi appelés « tarifs généraux » quand il exprime de volume des arbres en fonction de plus d'une mesure (diamètre à 1,30m ou 1,50 m et hauteur-fût). Il est souvent du type $V = a + b D^2 H$ (Anonyme, 1976) avec a, b : constances ; D : Dhp et H : hauteur-fût ou longueur du fut.

1.4.2.2. Tarif de cubage des peuplements

Il est le tableau qui sert à estimer le volume d'un peuplement sur pied à partir des caractéristiques moyennes et ou plusieurs entrées à l'hectare.

Il peut être à une entrée ou plusieurs selon les paramètres pris en considération (Ahuka, 1976 ; Biguma, 2006 ; Lofofu, 2008). Il est donc plus aisé de lire à l'aide d'un tarif, le volume d'un arbre, connaissant son diamètre à hauteur de poitrine (Dhp).

1.4.3. Usage des tarifs de cubage

Le tarif de cubage permet le cubage rapide des arbres, de même que le cubage rapide du peuplement peut être établi à l'aide des diamètres (cas de tarif à une entrée). Il est donc plus aisé de lire à l'aide d'un tarif, le volume d'un arbre, connaissant son diamètre à hauteur de poitrine (Dhp) (Ahuka, 1976 op cit).

Le tarif de cubage peut être utilisé :

- Soit en vue de l'aménagement de forêts ;
- Soit en vue de la commercialisation ;
- Soit encore en vue de la recherche du volume exact.



1.4.4. Zone de validité d'un tarif de cubage

Les tarifs de cubage n'étant que des relations statistiques, ils ne sont utilisables que par l'essence de la région et les catégories de diamètre des arbres qui ont servis à les construire (Otout et Rondeux, 1988 ; CTFT, 1989).

1.4.5. Taille de l'échantillon

Il est démontré qu'un échantillon de 50 à 100 arbres est suffisant pour l'élaboration d'un tarif pour une essence dans une région donnée ou du moins que l'augmentation de l'échantillon au-delà de cette valeur n'améliore pas la qualité de la régression.

La répartition de l'échantillon au sein de la zone d'étude est également fondamentale : il faut éviter de faire tous les relevés pour une essence donnée au même endroit (Lofofu, 2008).

1.5. Travaux antérieurs

Les tarifs de cubage sont beaucoup élaborés ; les travaux les plus récents en RDC sont ceux de :

- Kambale, 2006. Contribution à l'élaboration d'un tarif de cubage de *Gilletiodendron kisanuense* (Vermoesen ex Dewild) J. Léonard dans la réserve forestière de Yoko (Bloc Nord) Ubundu, Province Orientale, R.D.C. Mémoire inédit, FSA/UNIKIS. Il a utilisé un échantillon de 68 tiges ayant les Dhp ≥ 10 cm et proposé 6 équations de régression pour maintenir la régression exponentielle.
- En 2006, Biguma lui a contribué à l'élaboration d'un tarif de cubage de *Staudtia kamerunensis* (S. Stipitata) dans la réserve floristique de Loweo (Yangambi, RDC). Mémoire inédit, FSA/UNIKIS. Il a utilisé un échantillon de 40 tiges ayant les Dhp ≥ 10 cm, et proposé 4 équations de régression pour maintenir la régression puissance.
- En 2007, Otomabongea contribue à l'élaboration d'un tarif de cubage de *Petersianthus macrocarpus* (P. beauv) Liben, 1968 dans la réserve forestière de Masako (Kisangani, RDC), Travail inédit ISEA/Bengamisa. Il a utilisé un échantillon de 53 tiges ayant les Dhp ≥ 10 cm et proposé 6 équations de régression pour maintenir la régression puissance.
- Lofofu en 2008, a contribué à l'élaboration d'un tarif de cubage de *Branchystegia laurentii* (de Wild) Louis dans la forêt de Biaro (P.K. 41, Ubundu, Province Orientale, RDC). Il a utilisé un échantillon de 120 tiges ayant les Dhp ≥ 10 cm et proposé 6 équations de régression pour maintenir la régression puissance.
- Malongola en 2008 a contribué à l'élaboration d'un tarif de cubage de *Scorodophloeus zenkeri* Harms dans la réserve forestière de Yoko (Bloc Sud, Ubundu, Province Orientale, les Dhp ≥ 10 cm et proposé 6 équations de régression pour maintenir la régression puissance.
- Kahindo en 2009 Elaboration des tarifs de cubage et 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). Le modèle puissance a été maintenu pour ces espèces.

Il faut préciser que tous ces tarifs cités ci-haut ont été élaborés par la méthode indirecte c'est-à-dire sur base des arbres sur pied. Cependant, le tarif que nous présentons dans le présent mémoire est construit sur base des arbres abattus. D'où l'importance de ce tarif regorge pour des utilisateurs qui veulent avoir des estimations plus ou moins fiables sur la quantité de la matière ligneuse en termes de volume exploitable.

Deuxième chapitre : Matériel et Méthodes

2.1. Matériel

Pour bien mener notre étude, nous nous sommes servis de deux types de matériel, le matériel biologique et le matériel technique.

2.1.1. Matériel biologique

Notre matériel biologique est constitué uniquement des grumes de l'espèce *Entandrophragma cylindricum* (50 grumes) dont le Dhp \geq 60cm.

2.1.2. Matériel technique

Les matériels nécessaires qui ont servis pour les mesures des paramètres sur le terrain étaient constitués :

- Un compas forestier pour la mesure de diamètre ;
- Une perche de 1,30m, pour indiquer le niveau du Dhp ;
- Des boîtes de peinture, pour le marquage et la numérotation ;
- Une fiche pour la prise des données ;
- Une calculatrice de marque Casio-fonction 82 pour la transformation des données ;
- GPS, pour la prise des coordonnées géographiques du terrain ;
- Un ordinateur pour le traitement des données;
- Un galon en toile (20 m) pour la mensuration des arbres (hauteur fût).

2.2. Méthodologie du travail

Pour l'établissement des tarifs de cubages, 50 grumes ont été mesurés dans la concession forestière de FORABOLA. Un effort a été fait à chaque fois pour que les différentes classes de grosseurs soient représentées, en vue d'une meilleure répartition de diamètre (Parde, 1961).

Les principales données nécessaires à la construction d'un tarif de cubage sont pour des raisons de facilité et de précision, récoltées sur arbres abattus et concernent des grosseurs (circonférence ou diamètre) mesurées à divers niveaux ainsi que des hauteurs individuelles. On a considéré un nombre sensiblement identique d'arbres par catégories de grosseur.

Les circonférences ont été prises en 2 directions perpendiculaires à l'aide d'un compas forestier (Lanly, 1965). Pour différentes hauteurs de la grume, nous avons utilisé un galon en toile pour la prise des données. La figure 1 donne le protocole de cubage des arbres abattus tel que observé sur terrain.

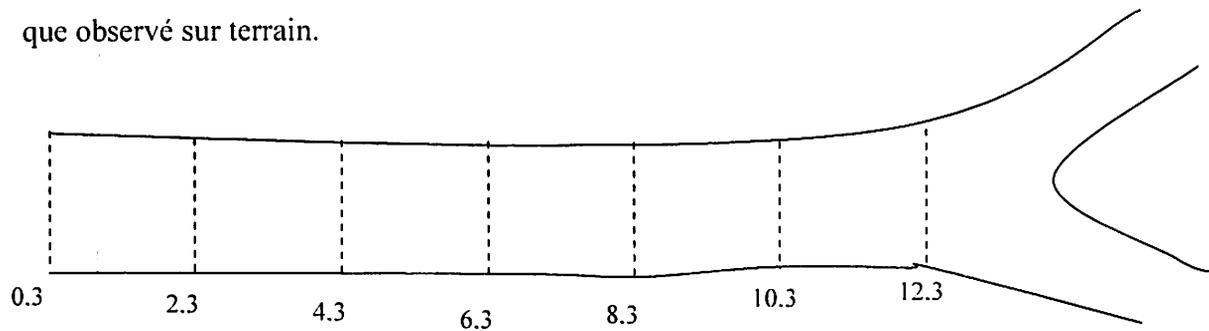


Figure 1 : Protocole de cubage des arbres abattus

Les branches n'ont pas été concernés pour cette étude.

2.2.1. Critères de sélection des grumes

Nous avons retenu deux critères :

- Les grumes à cuber devraient avoir un $D_{hp} \geq 60\text{cm}$;
- Les mesures sont faites sur les arbres abattus sans difficultés de prises des mesures.

2.2.2. Paramètres dendrométriques

Nous avons réalisé pour chaque grume mesurée les paramètres suivants :

- Le diamètre à différent niveau ;
- La longueur de la grume.

2.2.3. Répartition des échantillons par classe de grosseur

Tous les arbres cubés ont été répartis par classe de diamètre en vue d'une meilleure répartition de diamètre (Parde, 1961).

2.3. Traitement des données

Les différentes étapes du traitement sont (C.T.F.T., 1969 ; C.T.F.T., 1989 in Kahindo, 2006).

- La compilation ;
- Le calcul des volumes indispensables des arbres échantillons à partir des données compilées ;
- L'estimation du volume par les modèles d'équation de régressions proposées : linéaire, logarithmique, puissance, exponentielle, inverse et quadratique en fonction du diamètre à hauteur de poitrine et l'ajustement des équations par calcul de quelques paramètres statistiques ;
- Enfin, la construction de table de cubage correspondant à l'équation retenue.

2.3.1. Compilation des données brutes

Les données dendrométriques brutes telles que prélevées au compas forestier concernaient les circonférences et les hauteurs avec le galon. Les circonférences sont à ce stade transformées en données utilisables pour les calculs du volume en diamètre.

a) Calcul de diamètre

La transformation des circonférences en diamètres s'effectue par la formule ci-après :

$$D = \frac{C}{\pi} \quad \text{Où } D : \text{Diamètre ;}$$

C : Circonférence ;

π : 3,14.

b) Répartition par classe de hauteur

Pour la distribution en différentes classes de hauteur, on a utilisé la formule de Sturge (Dagnelie *et al*, 1985) en calculant :

- Le nombre minimum de classes : $K = 1 + 3,33 \log N$

Où N : effectif

- L'intervalle de classes : $I = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{K}$

Où X_{\max} : Valeur maximale enregistrée par catégorie de hauteur

X_{\min} : Valeur minimale enregistrée par catégorie de hauteur.

2.3.2. Calcul de volume individuel des arbres.

Le volume des différents tronçons (V_t) a été déterminé au moyen de la formule de Smalian. Le volume du fût (V_f) de chaque arbre est la somme de volumes des tronçons le composant toujours au moyen de la formule de Smalian (Owana, 2002).

$$V_t = \frac{\pi}{4} \left(\frac{D_1^2 + D_2^2}{2} \right) * H_i$$

$$V_f = \frac{\pi}{4} \sum_{i=1}^n \left(\frac{D_{1i}^2 + D_{2i}^2}{2} \right) H_i$$

Dans laquelle :

- D_{1i} et D_{2i} = diamètre des deux extrémités du billon i
- H_i = longueur du billon i
- n = nombre de billons
- V_t = volume tronçon en m^3
- V_f = volume du fût en m^3

L'examen des nuages de points traduisant la dispersion des données de volume d'arbres en fonction de la circonférence et la comparaison des coefficients de détermination R^2 ont guidés aussi le choix d'équation de cubage de la forme suivante (L'onton *et al*, 2002) :

$$V = b_0 D^{b_1}$$

Dans laquelle:

- V = volume en m^3 ;
- D = Diamètre en cm;
- b_0, b_1 = coefficient de régression.

2.3.3. Construction proprement dite du tarif de cubage.

La structure d'un tarif de cubage peut s'appuyer sur plusieurs méthodes :

- Méthode mathématique ;
- Méthode graphique ;
- Méthode directe.

Il est évident que les deux dernières méthodes sont aujourd'hui remplacées par la méthode mathématique. La relation volume fût et Dhp nous a servi de trouver aisément les coefficients de régression (a, b, et c) et le coefficient de corrélation (r). L'estimation du volume était déterminée par six modèles d'équations de régression qui sont (Copin, 1969 in Biguma, 2006 ; Lofof, 2008) :

- $Y = a + b x$: régression linéaire
- $Y = a + b \ln x$: régression logarithmique
- $Y = a.x^b$: régression puissance
- $Y = a.e^{bx}$: régression exponentielle
- $Y = a + b.\frac{1}{x}$: régression inverse
- $Y = a + bx + cx^2$: régression quadratique

2.3.3.1. Sélection des équations de régression

Dans le choix des équations de régression, il existe deux méthodes, qui sont : la méthode statistique et la méthode non statistique (Lofof, 2008 op.cit).

a) Méthode non statistique

Cette méthode est applicable lorsque les ajustements sont réalisés exclusivement par voie graphique, juge la qualité de ceux-ci. On peut aussi utiliser des paramètres basés sur la comparaison des volumes observés et des volumes estimés ou calculés.

b) Méthode statistique

C'est la méthode qui consiste à déterminer les coefficients de régression et les paramètres basés sur les valeurs de résidu pour vérifier la qualité de leurs ajustements.

L'objectif de ce choix d'un modèle est d'arriver à une équation de régression qui prédit avec la plus grande précision, en fonction de sa capacité, par la variation de volume ou de densité. Donc, il nous a fallu retenir celui ou ceux qui ne nous donnent pas les valeurs en volume significativement différentes de celles obtenues par la formule de Smalian au seuil de signification de 95% ($\alpha = 0,05$) ; cette sélection sera basée aussi au coefficient de corrélation r supérieur à 0,80 et le coefficient de détermination R^2 aussi élevé (Dagnelie, 1973). On tiendra également compte de la courbe qui s'ajuste la mieux aux nuages des points.

2.3.3.2. Ajustement des équations par de tests statistiques

Pour retenir une équation de régression, il nous a fallu analyser certains paramètres (Hald, 1952 ; Rondeux, 1999).

- Test d'ajustement de X^2 de PEARSON

$$X^2 = \frac{\sum (Y_{obs} - Y_{cal})^2}{Y_{cal}} \quad \text{où } Y_{cal} = \text{volume calculé avec l'équation de régression ;}$$

Y_{obs} = volume calculé avec l'équation de Smalian.

- Ecart - type résiduel (ECTR)

$$ECTR = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (Y_{obs} - Y_{cal})^2} \quad \text{Avec } n = \text{effectif de l'échantillon ou nombre de tige.}$$

- Coefficient de variation résiduelle (CVR)

$$CVR = \frac{ECTR}{\bar{Y}_c}$$

avec

\bar{Y}_c : volume moyen calculé par équation de régression

- L'intervalle de confiance (IC)

$$IC = \bar{Y}_c \pm 2 \sqrt{\frac{SCE}{n(n-1)}}$$

Où SCE = Somme des carrés des écarts du volume estimé.

- Précision de tarif de cubage

$$E = S_m \cdot t$$

où

E : Erreur due à l'application du tarif ;

S_m : Ecart-type de l'échantillon ;

t : valeur tabulaire de student.

$$P = 100\% - E$$

Où P : Précision du tarif

- Calcul d'erreur-type de coefficient de corrélation

$$S_r = \sqrt{\frac{1-r^2}{N-2}}$$

où

S_r : Erreur-type de coefficient de corrélation ;

r : Coefficient de corrélation ;

N : Nombre d'individus.

2.3.4. Construction d'une table ou graphique de cubage

a) Table

La construction d'une table sera effectuée à l'aide de l'équation retenue (Dagnelie, 1985).

b) Graphique

Le graphique sera construit en fonction de volume porté sur l'ordonnée et le Dhp en abscisse (Malongola, 2008).

Troisième chapitre : Résultats

La présentation de ces résultats se fait à partir de différents paramètres dendrométriques examinés sur les arbres abattus pris en compte dans la concession forestière de FORABOLA, Territoire de Basoko (Province Orientale, RDC).

3.1. Caractéristiques dendrométriques

3.1.1. Diamètre

Il est très important de veiller à utiliser un échantillon assurant une bonne dispersion de la distribution des grosseurs. En d'autres termes, il sera souvent plus avantageux de mesurer un nombre plus élevé d'arbre appartenant aux catégories de grosseurs extrêmes plutôt que d'accroître l'effectif total (C.T.F.T., 1989).

C'est dans cette logique que nous avons mesurés, pour chaque classe de Dhp 5 grumes d'*Entandrophragma cylindricum* et un total de 50 grumes réparties en 10 classes de diamètre.

Le diamètre moyen mesuré au niveau de 1,30m est de 109,7cm, l'écart-type est de 4,39cm et le coefficient de variation est de 40% ce qui témoigne une hétérogénéité entre les grumes.

3.1.2. Hauteur fût

La hauteur fût de l'arbre, c'est la partie la plus recherchée pour les utilisations multiples.

L'analyse des données montre que la hauteur fût moyenne d'*Entandrophragma cylindricum* est de 16,3m et un écart-type de 4,52m. Le coefficient de variation est de 27,76. La figure ci-dessous donne la variation des valeurs de hauteur fût.

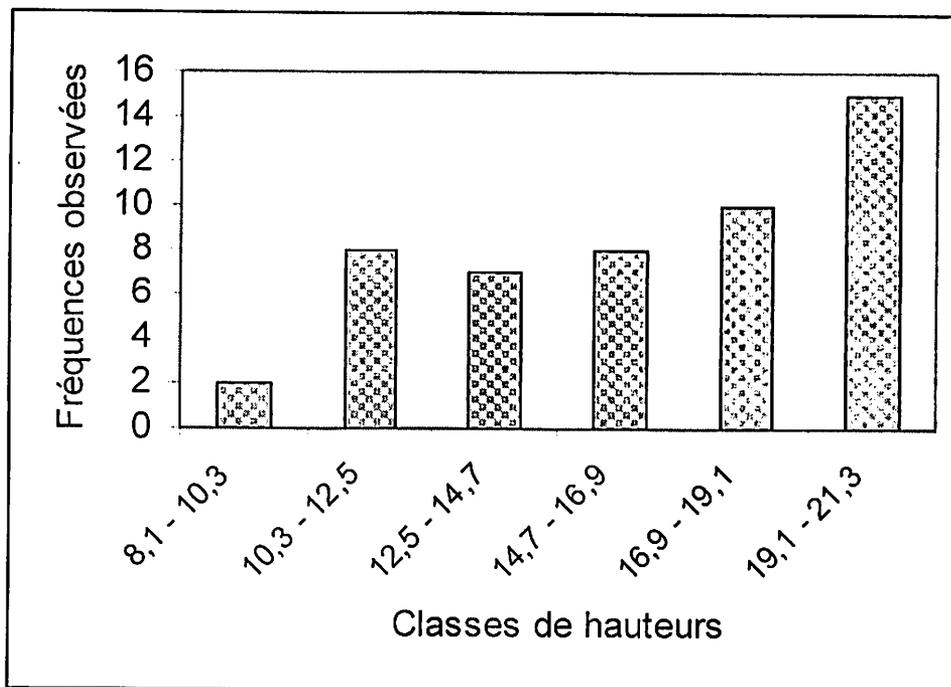


Figure 2 : Variation des valeurs de hauteur fût

Il ressort de cette figure que la hauteur fut est variable selon les classes de hauteur, et on retrouve plus des tiges dans la dernière classe ; tandis que la première classe n'a que très peu de tiges. La courbe prend la forme irrégulière, ce qui indique que les grumes de Sapelli sont en général longues de plus de 10 m et arrive jusqu'à environ 21 m.

3.2. Calcul du tarif de cubage

3.2.1. Présentation des modèles des équations de régression

La relation de Dhp avec le volume fût nous a permis de trouver aisément les coefficients de corrélation et de détermination de six équations proposées. Le tableau 1 présente ces éléments des différentes équations de régression.

Tableau 1 : Caractéristiques des équations de régression

Equation Elément	Linéaire	Logarithmique	Inverse	Quadratique	Puissance	Exponentielle
N	50	50	50	50	50	50
a	-11,1669134	-93,8160784	34,8006515	-10,0462698	0,0006286	1,28525606
b	0,22332212	22,9889678	-2182,21479	0,20134892	2,10055254	0,0197694
c				0,00010027		
r	0,89665714	0,88785739	0,86420262	0,89671738	0,93294861	0,91225176
R ²	80,399402	78,8290747	74,6846161	80,4102067	87,0393115	83,2203279

Légende :

a,b et c : coefficients de variation ;

N : effectif ;

r : coefficient de corrélation ;

R² : coefficient de détermination.

Selon Mabilia (1981) pour retenir une équation de régression qui fera l'objet du tarif de cubage, le choix doit s'opérer sur les modèles qui donnent de valeur de coefficient de détermination $\geq 80\%$.

Les 4 modèles de régression (Linéaire, Quadratique, Puissance et Exponentielle) sont premièrement retenus car en effet, ils ont donné de valeurs de coefficient de détermination élevé, soit $\geq 80\%$.

Il ressort que les équations de régression linéaire, quadratique, puissance et exponentielle présentent un coefficient de détermination (R^2) $\geq 80\%$, cela montre qu'il existe une forte relation entre le Dhp et le volume, tandis que les équations de régression logarithmique et inverse ont donné un coefficient de détermination $< 80\%$ et sont de ce fait rejetées.

3.2.2. Choix du modèle de régression

Les six tarifs issus des modèles d'équation après ajustement sont repris dans le tableau ci-après pour faire le choix :

Tableau 2 : Equation de tarif de cubage des différents modèles de régression.

Equations	Modèles	r (%)	R ² (%)	Volume total (m ³)
$Y = 0,22332212 x - 11,1669134$	Linéaire	0,89665714	80,399402	666,576328
$Y = 22,9889678 \ln x - 93,8160784$	Logarithmique	0,88785739	78,8290747	679,8932204
$Y = 1,28525606 e^{0,0197694X}$	Exponentielle	0,91225176	83,2203279	8589,533788
$Y = 0,006286 x^{2,10055254}$	Puissance	0,93294861	87,0393115	654,8981034
$Y = 34,8006515 - \frac{2182,21479}{x}$	Inverse	0,86420262	74,6846161	-1068,51483
$Y = 0,00010027 x^2 + 0,20134892 x - 10,0462698$	Quadratique	0,89671738	80,4102067	-5023133731

Légende :

X : Dhp ;

r : Coefficient de corrélation ;

R² : Coefficient de détermination ;

y : Paramètre estimé (volume)

Il convient de rappeler que l'ajustement est parfait lorsque le coefficient de corrélation est égal à 1. Mais pour le tarif de cubage, ce n'est jamais le cas.

Etant donné que le volume total pour les modèles inverse et quadratique a donné de valeur négative, ces deux modèles ne peuvent donc pas faire l'objet du tarif de cubage ; ils sont par conséquent rejetés. Le modèle exponentiel est aussi rejeté pour avoir surestimé le volume. Car la comparaison des volumes issus des modèles de régression ont été comparé aisément avec le volume de Smalian.

Ces critères nous ont permis de retenir à ce niveau les équations de régressions suivantes :

- Linéaire : $Y = 0,22332212 x - 11,1669134$;
- Puissance : $Y = 0,006286 x^{2,10055254}$

3.2.3. Test d'ajustement de Khi-carré de PEARSON

A partir de transformation, nous avons obtenu les valeurs numériques pour faire le test de X². Le tableau 3 donne l'appréciation de la qualité d'ajustement par le test de X².

Tableau 3 : Appréciation de la qualité d'ajustement par test X^2

Equations	Paramètres
$Y_{\text{linéaire}} = 0,22332212 X - 11,1669134$	Khi-carré table : 29,71
	Khi-carré calculé : 22,084
$Y_{\text{puissance}} = 0,006286 X^{2,10055254}$	Khi-carré table : 29,71
	Khi-carré calculé : 21,344

Nous avons considéré un seuil statistique de 0,01 et l'analyse de ce tableau montre ce qui suit :

a) Pour l'équation de régression linéaire.

La valeur de Khi-carré calculé est inférieure à celle trouvée à la table. Ceci prouve que la différence entre le volume observé et le volume calculé n'est pas significative. Dans ce cas, l'équation est acceptable.

b) Pour l'équation de régression puissance

La valeur de khi-carré calculé est inférieure à la valeur tabulaire. Cette équation est aussi acceptable.

L'examen du résultat de ces deux modèles acceptables nous pousse à calculer l'écart-type résiduel, en vue de vérifier celui qui donnera un coefficient de variation résiduelle faible.

Pour estimer en définitif une des équations qui fera l'objet de tarif, il est recommandé de se baser sur le choix de l'équation qui présente les valeurs de coefficient de détermination plus élevé et le coefficient de variation résiduelle faible (Njoukan, 1995).

3.2.4. Ecart-type résiduel, coefficient de variation résiduelle et intervalle de coefficient

Le tableau ci-dessous présente les écart-type résiduel, coefficient de variation résiduelle, et intervalle de confiance.

Tableau 4 : Ecart-type résiduel, coefficient de variation résiduelle, et intervalle de confiance

Equations	Paramètres
$Y_{\text{linéaire}} = 0,22332212 X - 11,1669134$	Ecart-type résiduel : $0,96\text{m}^3$
	Coefficient de variation résiduelle = 39,34%
	L'intervalle de confiance = $1,33 \pm 0,21$
$Y_{\text{puissance}} = 0,006286 X^{2,10055254}$	Ecart-type résiduel : $0,26\text{m}^3$
	Coefficient de variation résiduelle = 26,97%
	L'intervalle de confiance = $1,31 \pm 0,42$

L'analyse de ce tableau nous donne les informations suivantes :

- L'équation de régression linéaire donne un écart-type résiduel égal à $0,96\text{m}^3$ et un coefficient de variation résiduelle de 39,34% ; cette valeur est supérieure comparée à celle trouvée par le modèle puissance qui donne un écart-type résiduel de $0,26\text{m}^3$ et un coefficient de variation résiduelle égal à 26,97%. Nous constatons que le modèle puissance a donné une valeur la plus élevée pour le coefficient de détermination et un coefficient de variation résiduelle faible par rapport au modèle linéaire. Le modèle puissance est alors retenue pour l'élaboration du tarif de cubage.

3.2.5. Précision du tarif de cubage

Les données de dispersion de Dhp nous permettent de trouver la précision de tarif de cubage.

Nous nous sommes servis pour rappel des formules ci-après :

$$E = S_m \cdot t ; \text{ et } P = 100\% - E. \text{ Donc nous avons : } E = 7,34 ; \quad P = 92,66\%.$$

Le tarif de cubage que nous produisons a une précision de 92,66%, ce qui montre que la précision est hautement élevée.

3.2.6. Calcul d'erreur-type sur le coefficient de corrélation

Avec le coefficient de corrélation $r = 0,933$ nous avons calculé l'erreur type de ce coefficient de corrélation (Lanly, 1966).

$$S_r = \sqrt{\frac{1-r^2}{N-2}}$$

$$Sr = \sqrt{\frac{1 - (0,933)^2}{50 - 1}} = 0,05$$

Cela veut dire que l'erreur type de coefficient de corrélation est de 5% soit une précision de 95%. Cette valeur montre que le choix porté sur le coefficient de corrélation est très justifié.

3.3. Construction d'un tarif de cubage

L'équation de régression retenue nous permet de construire le barème de cubage (annexe 5).

3.3.1. Equation de régression retenue

Le tableau 5 présente l'équation de régression retenue pour la construction du tarif de cubage.

Tableau 5 : Equation de régression retenue

Equation	R ² (%)	ECTR (m ³)	CVR (%)
$Y = 0,006286x^{2,10055254}$	87,0393115	0,26m ³	26,97

Avec R² = Coefficient de détermination

ECTR = Ecart-type résiduel

CVR = Coefficient de variation résiduelle

X = diamètre à hauteur de poitrine

Y = paramètre estimé (volume).

C'est le tarif de cubage à une entrée.

3.3.2. Barème de cubage spécifique de Sapelli (*Entandrophragma cylindricum*) de la concession forestière de FORABOLA (Territoire de Basoko)

Le tableau 6 présente le barème de cubage spécifique de Sapelli (*Entandrophragma cylindricum*)

Tableau 6: Barème de cubage spécifique de Sapelli (*Entandrophragma cylindricum*)

DHP	Barème de cubage									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Classe 60	3,4157	3,5363	3,6592	3,7843	3,9116	4,0410	4,1727	4,3067	4,4428	4,5811
Classe 70	4,7217	4,8645	5,0096	5,1568	5,3063	5,4581	5,6121	5,7683	5,9268	6,0875
Classe 80	6,2505	6,4157	6,5833	6,7530	6,9251	7,0994	7,2760	7,4548	7,6359	7,8193
Classe 90	8,0050	8,1930	8,3833	8,5758	8,7707	8,9678	9,1673	9,3690	9,5730	9,7794
Classe 100	9,9880	10,1990	10,4122	10,6278	10,8457	11,0659	11,2885	11,5133	11,7405	11,9700
Classe 110	12,2019	12,4361	12,6726	12,9114	13,1526	13,3961	13,6420	13,8902	14,1407	14,3936
Classe 120	14,6489	14,9065	15,1664	15,4287	15,6934	15,9604	16,2298	16,5015	16,7757	17,0521
Classe 130	17,3310	17,6122	17,8958	18,1818	18,4701	18,7608	19,0539	19,3494	19,6473	19,9475
Classe 140	20,2502	20,5552	20,8626	21,1724	21,4846	21,7992	22,1162	22,4356	22,7574	23,0816
Classe 150	23,4082	23,7372	24,0686	24,4025	24,7387	25,0773	25,4184	25,7618	26,1077	26,4560

3.3.3 Graphique de cubage

La figure ci-dessous donne la courbe qui traduit la relation entre le diamètre et le volume

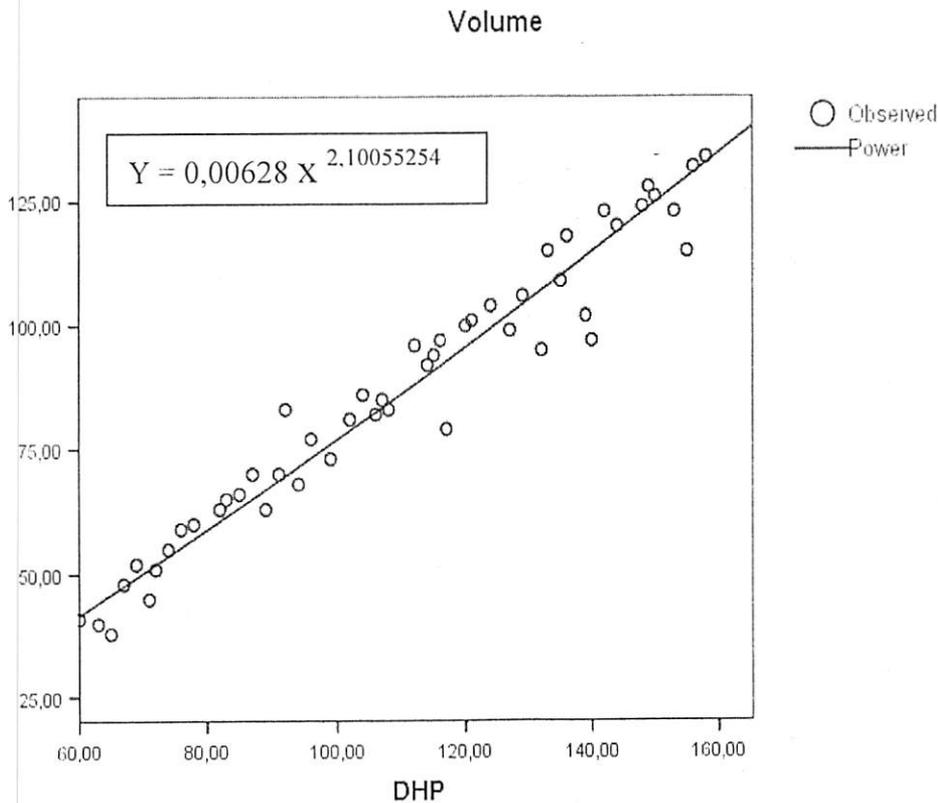


Figure 3 : Relation entre le DHP et le volume

Quatrième chapitre : DISCUSSION DES RESULTATS

La discussion des résultats obtenus dans la présente étude porte sur la comparaison des caractéristiques du tarif de cubage (à une entrée) proposé ci-haut et ceux relatifs aux autres provinces de la RD Congo; des telles comparaisons sont souvent difficiles à clarifier surtout en raison de différence de méthodes utilisées, et très particulièrement à ce qui concerne la taille et la conception de l'échantillonnage.

4.1. Tarif de cubage

Le calcul du volume était exécuté à l'aide de la formule de Smalian sur base des mesures des diamètres tous les 2 m le long de la grume. Cette méthode dans le cas des billons successifs de ± 2 m de long, est précise, adaptée pour plusieurs espèces, âges et régions géographiques (Rondeux, 1993; Figueiredo, 2000; Kahindo, 2009).

4.1.1. Comparaison des caractéristiques des modèles

Le tableau ci-après présente le tarif de cubage à une entrée de Sapelli selon les provinces. La comparaison porte sur les caractéristiques des tarifs dans la concession forestière de FORABOLA à Basoko (2009) et ceux de la Direction d'Inventaire et d'Aménagement Forestier de différentes provinces pour la même espèce.

Tableau 7 : Comparaison des caractéristiques du tarif de cubage de Sapelli avec ceux des autres provinces de la RDC et du Cameroun

Provinces	Coefficients	
	a	b
Bandundu	0,00002314	2,72912
Bas-Congo	0,0003004	2,2349002
Basoko (Forabola)	0,0006286	2,1005254
Cameroun	0,00003054	2,09039952
Equateur	0,00051522	2,13691575
Orientale	0,0003004	2,2349002

L'analyse de ce tableau montre que les caractéristiques des équations de cubage varient en fonction des provinces. Ce même tableau renseigne également que de l'ordonnée à l'origine (coefficient a) du tarif de Basoko est supérieure à ceux des tarifs des autres provinces de même que sa pente (coefficient b). L'augmentation du coefficient (en exposant) provoquerait proportionnellement celle du volume estimé (équation de forme puissance). Ainsi, 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).

4.1.1. Comparaison des volumes obtenus au moyen de Tarif local de la concession FORABOLA (Territoire de Basoko) avec ceux des autres sites.

Le tableau ci-dessous donne la comparaison du tarif local avec ceux des autres sites.

Tableau 8 : Comparaison des volumes obtenus au moyen de différents tarifs de cubage spécifiques

DHP	Sites	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
60	Basoko	3,416	3,536	3,659	3,784	3,912	4,041	4,173	4,307	4,443	4,581
	Bandundu	1,649	1,725	1,803	1,884	1,966	2,051	2,139	2,228	2,320	2,414
	Bas-congo	1,566	1,621	1,677	1,734	1,792	1,677	1,911	1,677	2,034	2,097
	Equateur	3,249	3,366	3,485	3,606	3,729	3,855	3,983	4,113	4,245	4,380
70	Basoko	4,722	4,865	5,010	5,157	5,306	5,458	5,612	5,768	5,927	6,088
	Bandundu	2,511	2,610	2,712	2,816	2,922	3,031	3,143	3,257	3,374	3,493
	Bas-congo	2,161	2,226	2,292	2,359	2,427	2,496	2,567	2,638	2,710	2,783
	Equateur	4,517	4,656	4,797	4,940	5,086	5,234	5,384	5,537	5,692	5,849
80	Basoko	6,251	6,416	6,583	6,753	6,925	7,099	7,276	7,455	7,636	7,819
	Bandundu	3,615	3,740	3,867	3,997	4,130	4,266	4,404	4,545	4,689	4,836
	Bas-congo	2,857	2,932	3,008	3,086	3,164	3,008	3,323	3,405	3,487	3,570
	Equateur	6,008	6,170	6,334	6,500	6,668	6,839	7,012	7,188	7,365	7,545
90	Basoko	8,005	8,193	8,383	8,576	8,771	8,968	9,167	9,369	9,573	9,779
	Bandundu	4,986	5,138	5,294	5,452	5,614	5,778	5,946	6,116	6,290	6,467
	Bas-congo	3,655	3,740	3,826	3,914	4,002	4,092	4,183	4,274	4,367	4,460
	Equateur	7,728	7,912	8,099	8,288	8,480	8,674	8,870	9,069	9,270	9,473
100	Basoko	9,988	10,199	10,412	10,628	10,846	11,066	11,288	11,513	11,741	11,970
	Bandundu	6,647	6,830	7,016	7,205	7,398	7,593	7,792	7,995	8,200	8,409
	Bas-congo	4,555	4,651	4,748	4,845	4,944	5,044	5,145	5,247	5,350	5,454
	Equateur	9,679	9,887	10,097	10,310	10,525	10,742	10,962	11,184	11,409	11,636
110	Basoko	12,202	12,436	12,673	12,911	13,153	13,396	13,642	13,890	14,141	14,394
	Bandundu	8,621	8,837	9,056	9,278	9,504	9,733	9,966	10,202	10,442	10,685
	Bas-congo	5,559	5,666	5,773	5,881	5,990	6,101	6,212	6,325	6,438	6,553
	Equateur	11,865	12,097	12,331	12,567	12,806	13,048	13,291	13,537	13,786	14,037
120	Basoko	14,649	14,906	15,166	15,429	15,693	15,960	16,230	16,502	16,776	17,052
	Bandundu	10,932	11,182	11,436	11,694	11,955	12,220	12,489	12,761	13,037	13,317
	Bas-congo	6,668	6,785	6,903	7,022	7,141	7,262	7,384	7,507	7,631	7,757
	Equateur	14,290	14,546	14,804	15,064	15,327	15,592	15,860	16,130	16,403	16,678
130	Basoko	17,331	17,612	17,896	18,182	18,470	18,761	19,054	19,349	19,647	19,948
	Bandundu	13,601	13,888	14,180	14,475	14,774	15,076	15,383	15,694	16,008	16,327
	Bas-congo	7,883	8,010	8,139	8,268	8,398	8,530	8,663	8,796	8,931	9,067
	Equateur	16,956	17,235	17,518	17,803	18,090	18,380	18,672	18,966	19,263	19,563
140	Basoko	20,250	20,555	20,863	21,172	21,485	21,799	22,116	22,436	22,757	23,082
	Bandundu	16,650	16,976	17,307	17,641	17,980	18,323	18,670	19,021	19,376	19,736
	Bas-congo	9,204	9,342	9,481	9,621	9,762	9,904	10,048	10,192	10,337	10,484
	Equateur	19,865	20,169	20,476	20,786	21,098	21,412	21,729	22,048	22,370	22,694
150	Basoko	23,408	23,737	24,069	24,402	24,739	25,077	25,418	25,762	26,108	26,456
	Bandundu	20,099	20,467	20,839	21,215	21,596	21,981	22,370	22,763	23,161	23,564
	Bas-congo	10,632	10,780	10,930	11,081	11,233	11,386	11,540	11,695	11,851	12,009
	Equateur	23,021	23,350	23,681	24,016	24,352	24,691	25,033	25,377	25,724	26,073

Le tableau ci-dessus montre que le tarif local de FORABOLA à Basoko donne des valeurs qui s'approchent plus des autres tarifs spécifiques ; on note le cas des tarifs des provinces de Bandundu et de l'équateur. Mais en comparant nos résultats avec ceux de la province de Bas-Congo, nous trouvons une différence intéressante qui peut se justifier par le fait que la méthode utilisée pour la confection du tarif local de Basoko est différente de la méthode utilisée pour l'élaboration des tarifs des autres provinces ; car en effet, nous avons élaboré notre tarif à l'aide des arbres abattus, tandis que les autres tarifs sont élaborés sur base des arbres debout. Nous pouvons ajouter à cela, le diamètre minimum utilisé reste très différent dans tous les cas.

Conclusion et recommandations

A. Conclusion

Le présent travail avait pour but l'élaboration d'un tarif de cubage d'*Entandrophragma cylindricum* dans la concession forestière de FORABOLA 11/03 dans le territoire de Basoko en province orientale (RDC).

Pour construire ce tarif, nous avons utilisé un échantillon de 50 grumes ayant un diamètre \geq 60 cm. Les diamètres et les hauteurs ont été mesurés à l'aide de compas forestier, quadratique.

Le modèle puissance a donné un coefficient de détermination élevé, ce qui montre qu'il existe une bonne relation entre le volume fût et le diamètre à hauteur de poitrine ; et les résultats obtenus donnent après analyse un tarif de cubage à une entrée (volume en fonction de Dhp). Le modèle de l'équation de régression retenue est $y = 0.006286 X^{2.10055254}$. Le modèle puissance étant aussi retenue, notre première hypothèse est confirmée.

Notre étude a en outre montrée que le tarif de cubage de Sapelli (Concession forestière de FORABOLA) suit un même modèle de régression que le tarif de cubage d'autres provinces de la RD. Congo. Ce qui confirme notre deuxième hypothèse.

Ce tarif de cubage local de Sapelli (*Entandrophragma cylindricum*) est applicable dans la concession forestière de FORABOLA et pour les diamètres allant de 60cm à 159 cm.

B. Recommandations

Pour l'amélioration du présent travail, nous recommandons ce qui suit :

- Que d'autres études soient faites avec un échantillonnage plus grand couvrant les classes de diamètre allant de 10 cm jusqu'à 220 cm,
- L'élaboration d'un tarif de cubage d'*Entandrophragma cylindricum* soit faite avec le même échantillonnage dans d'autres sites de la Province Orientale pour avoir une conclusion générale sur l'espèce au niveau du pays.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ahuka, K., 1976 : Tarif de cubage de *Gilbertiodendron dewevrei* en forêt naturelle. Mémoire inédit. IFA -Yangambi. 53p.
- Anonyme, 1978 : Mémento du forestier. Technique rurales en Afrique, 2 édition, jouve, Paris, 894p.
- Anonyme, 2002 : Code forestier. Journal officiel de la RDC kin 2.32p.
- ATIBT ,2006 : Formation de forestier aménagiste et gestionnaire forestier .Module 2, Dendrométrie et topographie .Libreville, Gabon, 47p.
- Biguma, S., 2006 : Contribution à l'élaboration d'un tarif de cubage de *Staudia stipitata* (= *kamerunensis*) Ward. Dans la réserve floristique de Loweo. Yangambi, RDC. Mémoire inédit, FSA/UNIKIS, 49p.
- Botobi, B., 2008 : Analyse de l'impact de la gestion de la Société plantations et huilerie du Congo sur le développement du territoire de Basoko.Mémoire inédit, SPA/UNIKIS ,49p .
- Bouchon, j, 1974 : Les tarifs de cubage.Nancy, ENGREF, 57p.
- Chauvet, B., 1968 : Tarif de cubage d'estimation du volume sur pied de peuplement de pin « In terre malgache », Librairie Hachette Tananarive, 174p.
- Chiseweka, G., 2006 : Fiche technique des essences exploitables par la société ENRABINI, 74p.
- C.T.F.T., 1956 : Mémento du forestier, 1ère édition, Ministère de coopération. 1216p.
- C.T.F.T., 1969 : Barème de cubage. Ministère de la coopération française 4^{ème} édition, Paris, 52p.
- C.T.F.T., 1989 : Mémento du forestier, 3^e éd., Ministère de coopération, 1266p.
- Dagnelie, P., 1973 : Théorie et méthode statistique vol I et II. Presse agronomiques de Gembloux, ASBL avenue de la faculté, 22 – 5800 Gembloux (Belgique), 204p.
- Dagnelie, P., Palm R., Rondeux J., Thill A. 1985 : Tables de cubage des arbres et des peuplements. Presses agronomiques de Gembloux, Belgique, 378p.
- Figueiredo, A.F, Amaral S-M and Mauricio 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.

- Fonton . HN ., Kakai R.G. , Rondeux J. 2002 : Etude dendrométrique d'*Acasia auricuformis* A.cunn.ex Benth., en mélange sur verstisol au Benin. pp 29 - 31.
- F.R.M., 2006 : Formation des forestiers aménagistes et gestionnaires forestiers. Module 1, notions introductives, 32p.
- Gauthier , 1997 : Manuel dendrologique. Inventiare forestier d'une partie de la cuvette centrale, région de l'équation-Rép. Du Zaïre. Québec, 380p.
- Hold, 1952: Statistic tables and formulars. Willy. New-York , 184p.
- Kahindo, M., 2006: Contribution à l'élaboration de tarif de cubage de *Funtumia africana* (Benth) stapf dans réserve forestière de Yoko : Bloc Nord (Ubundu, Province Orientale, RDC). Mémoire inédit, F.S.A/UNIKIS, 6-7 p.
- Kahindo, M., 2009 : Elaboration des tarifs de cubage et 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)
- Kambale, M., 2006 : Contribution à l'élaboration d'un tarif de cubage de *Gilbertiodendron kisantuense* (Vermoesen ex. Dewild) J. Léonard dans la réserve forestière de Yoko (Bloc Nord), Ubundu, Province Orientale, RDC. Mémoire inédit, FSA/UNIKIS, 39p.
- Kyanga, M., 2008 : Etude de récolement de *Pericopsis elata* (Afrommosia) dans l'exploitation de la concession forestière de Lileko. Cas de la société forestière et agricole de la M'bola (FORABOLA) dans le territoire de Basoko/Province Orientale, RDC. Mémoire inédit, FSA/UNIKIS. 46p.
- Lanly, 1965 : Les tarifs de cubage, revue bois et forêts des tropiques, Revue n° 101. 17 – 28p.
- Lanly, 1965 : Les tarifs de cubage, revue bois et des tropiques, n° 100.pp 19-35
- Lanly, 1966 : Inventaire forestier en République Centrafricaine. Bois et Forêts de tropique n° 105 C.T.F.T., 36p.
- Lanly, 1974 : Bois et forêt des tropiques, Revue n°154. 27 – 40p
- Lofolo, L., 2008 : Contribution à l'élaboration d'un tarif de cubage de *Brachystegia laurentii* (de Wild) Louns dans la forêt de Biaro (P.K. 41, Ubundu, Province Orientale, RDC), Mémoire inédit, FSA/UNIKIS, 50p.
- Mabiala et Kandaka, 1989 : Tarif de cubage. Norme d'inventaire forestier. Cahier n°4 SPIAF Kisansha, 58p.

- Mabiala et Mercier, 1981 : Nomres d'inventaire forestier. Cahier n°3. Tarif de cubage SPIAF, Kinshasa, 94p.
- Mabiala et Noel, 1981 : Normes d'inventaire forestier. Sondage temporaire. SPIAF Kinshasa, 68p.
- Makana, J.R., 1994 : Contribution à l'étude floristique et écologique de la forêt à *Gilbertiodendron dewevrei* (Deumld) J. Léonard, de Masako (Kisangani). Mémoire inédit, FS/UNIKIS, 65p.
- Malongola, W., 2008 : Contribution à l'élaboration d'un tarif de cubage de *Scorodophleus zenkeri* Harms dans la réserve forestière de Yoko (Bloc Sud. Ubundu, Province Orientale, RDC. Mémoire inédit, IFA/Yangambi, 38p.
- MECNT-FORAF, 2008 : Fiche de collection des données pour le suivi de l'état des forêts d'Afrique centrale. Niveau national R.D.C. Projet FORAF ;Kinshasa.
- Njoukan, R., 1995 : Contribution à l'étude des interactions « essences forestières à croissance rapide et sols des savanes tropicales humides ». Cas de la réserve de MELAP (Foumban) au Cameroun. Thèse de doctorant. F.U.SA de Gembloux, 196p.
- Nyakabwa, 1976 : Flore urbaine de Kisangani. Mémoire inédit, FS /UNIKIS.pp 1-20
- Otoul et Rondeux, 1988 : Construction d'un tarif de cubage à l'aide d'un micro ordinateur. pp 42
- Owona, N. 2006 Evaluation de la potentialité des plantations forestières au centre sud Cameroun : Résultats des mesures effectuées dans l'arboretum de Mbalmayo et des enquêtes menées en périphérie de sa réserve. Mémoire de master. pp25.
- Parde, 1961 : Dendrométrie. Edition de l'école nationale des Eaux et Forêts de Nancy, Paris. 350p.
- Rondeux, 1993 : La mesure des arbres et des peuplements forestiers, Gembloux. 512p.
- Rondeux, J., 1999 : Mémoire des arbres et des peuplements forestiers 2^{ème} éd. 521p.
- Tailfer, Y., 1989 : La forêt dense d'Afrique Centrale. Identification pratique des principaux arbres. Tome II. Approche botanique et systématique.
- Tsitundu, K., 1977 : Etude comparative des quelques méthodes de plantation de *Entandrophragma utile* (Dawe & Spraque) Spraque à Yangambi, Mémoire inédit, IFA/Yangambi, 56p.
- Vivien et Faure, 1985 : Arbres des forêts denses d'Afrique Centrale, Ministère des Relations Extérieures, Coopération et Développement. Paris, 565p.
- WWF et FRM, 2005 : Guide opérationnel. Normes d'inventaire d'aménagement forestier, RDC., M.E.C.N.E.F. et SPIAF. 28p.

TABLE DES MATIERES

DEDICACE

REMERCIEMENTS

RESUME

SUMMARY

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES ANNEXES

TABLE DES MATIERES

0. INTRODUCTION.....	1
0.1. Problématique.....	1
0.2. Hypothèses	2
0.3. Objectifs	3
0.3.1. Objectif général	3
0.3.2. Objectifs spécifiques	3
0.4. Intérêts.....	3
0.5. Subdivision.....	4
Premier Chapitre : GENERALITES	5
1.1. Milieu d'étude	5
1.1.1. Situation géographique.....	5
1.1.2. Sol.....	5
1.1.3. Climat	6
1.1.4. Végétation et faune.....	6
1.2. Milieu humain	6
1.2.1. Population.....	6
1.3. Généralités sur <i>Entandrophragma cylindricum</i> (Sprague)	6
1.3.1. Dénomination	6

1.3.2. Description botanique	7
1.3.3. Caractères physiques, mécaniques et technologiques (Vivien et Faure, 1985).....	8
1.3.3.1. Caractères physiques	8
1.3.3.2. Caractères mécaniques	9
1.3.3.3. Caractères technologiques.....	9
1.3.4. Habitat et provenance.....	10
1.3.5. Caractères du rondin.....	10
1.3.5.1. Densité à l'état vert-flottabilité.....	10
1.3.5.2. Reconnaissance des rondins de tranchage.....	10
1.3.6. Aspect du bois débité	10
1.3.7. Structure du bois.....	11
1.3.8. Utilisation.....	11
1.4. Tarif de cubage.....	12
1.4.1. Définition	12
1.4.2. Sortes de tarifs de cubage.....	12
1.4.2.1. Le tarif de cubage des arbres.....	12
1.4.2.2. Tarif de cubage des peuplements	13
1.4.3. Usage des tarifs de cubage	13
1.4.4. Zone de validité d'un tarif de cubage.....	13
1.4.5. Taille de l'échantillon.....	13
1.5. Travaux antérieurs.....	14
Deuxième chapitre : Matériel et Méthodes	16
2.1. Matériel	16
2.1.1. Matériel biologique	16
2.1.2. Matériel technique.....	16
2.2. Méthodologie du travail	16
2.2.1. Critères de sélection des grumes	17

2.2.2. Paramètres dendrométriques	17
2.2.3. Répartition des échantillons par classe de grosseur	17
2.3. Traitement des données	17
2.3.1. Compilation des données brutes.....	18
2.3.2. Calcul de volume individuel des arbres.	19
2.3.3. Construction proprement dite du tarif de cubage.....	20
2.3.3.1. Sélection des équations de régression	20
2.3.3.2. Ajustement des équations par de tests statistiques	21
2.3.4. Construction d'une table ou graphique de cubage	22
Troisième chapitre : Résultats	23
3.1. Caractéristiques dendrométriques	23
3.1.1. Diamètre	23
3.1.2. Hauteur fût.....	23
3.2. Calcul du tarif de cubage.....	24
3.2.1. Présentation des modèles des équations de régression.....	24
3.2.2. Choix du modèle de régression	25
3.2.3. Test d'ajustement de Khi-carré de PEARSON	26
3.2.4. Ecart-type résiduel, coefficient de variation résiduelle et intervalle de coefficient.....	27
3.2.5. Précision du tarif de cubage	28
3.2.6. Calcul d'erreur-type sur le coefficient de corrélation	28
3.3. Construction d'un tarif de cubage	29
3.3.1. Equation de régression retenue	29
3.3.2. Barème de cubage spécifique de Sapelli (<i>Entandrophragma cylindricum</i>) de la concession forestière de FORABOLA (Territoire de Basoko)	29
Quatrième chapitre : DISCUSSION DES RESULTATS	31
4.1. Tarif de cubage	31
4.1.1. Comparaison des caractéristiques des modèles.....	31

4.1.1. Comparaison des volumes obtenus au moyen de Tarif local de la concession FORABOLA (Territoire de Basoko) avec ceux des autres sites.....	32
Conclusion et recommandations	35
A. Conclusion.....	35
B. Recommandations.....	35
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	36
ANNEXES	

ANNEXE 1 : DONNEES DE TERRAIN

N°	DHP	Dfb	Hf	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10
1	60	41	17,6	57,85	55,7	53,55	51,4	49,25	47,1	44,95	42,8		
2	63	40	11,9	59,14	55,28	51,42	47,56	43,7					
3	65	38	13,4	60,98	56,96	52,94	48,92	44,9	40,88				
4	67	48	18,6	64,96	62,92	60,88	58,84	56,8	54,76	52,72	50,68	48,64	
5	69	52	12,4	66,26	63,52	60,78	58,04	55,3	52,56				
6	71	45	14,8	67,49	63,98	60,47	56,96	53,45	49,94	46,43			
7	72	51	20,2	69,93	67,86	65,79	63,73	61,65	59,58	57,51	55,44	53,37	51,3
8	74	55	17,4	71,82	69,64	67,49	65,28	63,1	60,92	58,74	56,56		
9	76	59	14,4	73,64	71,28	68,92	66,56	64,2	61,84	59,48			
10	78	60	12,8	76,19	72,38	69,57	66,76	63,95	61,14				
11	82	63	20,1	80,11	78,22	76,33	74,44	72,55	70,66	68,77	66,88	64,99	63,1
12	83	65	16,82	80,86	78,72	76,58	74,44	72,3	70,16	68,02	66,88		
13	85	66	19,4	83,05	81,1	79,15	77,2	75,25	73,3	71,35	69,4	67,45	
14	87	70	20,3	85,33	83,66	81,99	80,32	78,65	76,98	75,31	73,64	71,97	70,3
15	89	63	14,8	85,49	81,98	78,47	74,96	71,45	67,94	64,43			
16	91	70	12,4	87,62	84,24	80,86	77,48	74,1	70,72				
17	92	83	15,2	90,82	89,64	88,46	87,28	86,1	84,92	83,74			
18	94	68	14,6	90,44	86,88	83,32	79,76	76,2	72,64	69,08			
19	96	77	19,9	94,1	92,2	90,3	88,4	86,5	84,6	82,7	80,8	78,9	
20	99	73	18,6	96,21	93,42	90,63	87,84	85,05	82,26	79,47	76,68	73,89	
21	106	82	17,6	103,28	100,56	97,84	95,12	92,4	89,68	86,96	84,24		
22	102	81	18,6	99,75	97,5	95,25	93	90,75	88,5	86,25	84	81,75	
23	104	86	12,4	101,1	98,2	95,3	92,4	89,5	86,6				
24	107	85	17,2	104,45	101,9	99,35	96,8	94,25	91,7	89,15	86,6		
25	108	83	11,9	103,8	99,6	95,4	91,2	87					
26	112	96	19,4	101,36	108,72	107,08	105,44	103,8	102,16	100,52	98,88	97,24	
27	114	92	19,1	111,7	109,4	107,1	104,8	102,5	100,2	97,9	95,6	93,3	
28	115	94	14,1	112,03	109,06	106,09	103,12	100,15	97,18	94,21			
29	116	97	21,1	114,2	112,4	110,6	108,8	107	105,2	103,4	101,6	99,8	98
30	117	79	20,9	113,37	109,74	106,11	102,42	98,85	95,22	91,59	87,96	84,33	80,7
31	120	100	11,4	116,5	113	109,5	106	102,5					
32	121	101	19,7	118,97	116,94	114,91	112,88	110,85	108,82	106,79	104,74	102,73	
33	124	104	15,4	121,41	118,82	116,23	113,64	111,05	108,46	105,87			
34	127	99	20,1	124,22	121,44	118,66	115,88	113,1	110,32	107,54	104,76	101,98	99,2
35	129	106	15,09	125,95	122,9	119,85	116,8	113,75	110,7	107,65			
36	132	95	19,6	128,23	124,46	120,69	116,92	113,15	109,38	105,61	101,84	98,07	
37	133	115	18,6	131,07	129,14	127,21	125,28	123,35	121,42	119,49	117,56	115,63	
38	135	109	15,6	131,67	128,34	125,01	121,68	118,35	115,02	111,69			
39	136	118	11,9	132,98	129,96	126,94	123,92	120,9					
40	139	102	19,6	135,23	131,46	127,69	123,92	120,15	116,38	112,61	108,84	105,07	
41	140	97	20,4	135,79	131,58	127,37	123,16	118,95	114,74	110,53	106,32	102,11	97,9
42	142	123	8,1	137,31	132,62	127,93	123,24						
43	144	120	18,5	141,41	138,82	136,23	133,64	131,05	128,46	125,87	123,28	120,69	
44	148	124	12,5	144,16	140,32	136,48	132,64	128,8	124,96				
45	149	128	18,4	146,72	144,44	142,16	139,88	137,6	135,32	133,04	130,76	128,48	
46	150	126	9,4	144,9	139,8	134,7	129,6						
47	153	123	11,2	147,65	142,3	136,95	131,6	126,25					
48	155	115	20,4	151,08	147,16	143,24	139,32	135,4	131,48	127,56	123,64	119,72	115,8
49	156	132	14,2	152,62	149,24	145,86	142,48	139,1	135,72	132,34			
50	158	134	9,4	152,9	147,8	142,7	137,6						

ANNEXE 5 : CALCUL DES EQUATIONS DE REGRESSION

Model Summary and Parameter Estimates								
Dependent Variable: Volume								
Equation	Model Summary			Parameter Estimates				
	R Square	F	df1	df2	Sig.	Constant	b1	b2
Linear	0,80399402	196,890487	1	48	1,3146E-18	11,16691337	0,223322123	
Logarithmic	0,78829075	178,726037	1	48	8,4366E-18	93,81607838	22,98896777	
Inverse	0,74684616	141,608027	1	48	6,3208E-16	34,80065147	2182,214795	
Quadratic	0,80410207	96,4604285	2	47	2,3052E-17	10,04626979	0,201348918	0,000100267
Power	0,87039312	322,350696	1	48	6,18E-23	0,000628598	2,100552536	
Exponential	0,83220328	238,060417	1	48	3,1046E-20	1,285256058	0,019756937	

The independent variable is DHP.

ANNEXE 3 : DIFFERENTS VOLUMES CALCULES

N°	Vsmal	Ylin	Yquad	Ypuis	Y exp	Y inv
1	3,649965177	2,2324172	-100462685,6	3,415658965	93,96026021	-130898,087
2	2,602460011	2,90238356	-100462684,9	3,784284145	98,65827322	-137444,731
3	2,983122866	3,3490278	-100462684,5	4,041049151	101,7902819	-141809,161
4	4,961745043	3,79567204	-100462684,1	4,306658563	104,9222906	-146173,59
5	3,63505832	4,24231628	-100462683,6	4,581139376	108,0542992	-150538,02
6	4,106721333	4,68896052	-100462683,2	4,864517872	111,1863079	-154902,449
7	6,175467949	4,91228264	-100462683	5,009551777	112,7523123	-157084,664
8	5,808702715	5,35892688	-100462682,6	5,306324602	115,8843209	-161449,094
9	5,234710175	5,80557112	-100462682,1	5,612057928	119,0163296	-165813,523
10	4,867709321	6,25221536	-100462681,7	5,926775819	122,1483383	-170177,953
11	8,440253874	7,14550384	-100462680,8	6,583258755	128,4123556	-178906,812
12	7,341017673	7,36882596	-100462680,6	6,753030918	129,97836	-181089,027
13	8,822825246	7,8154702	-100462680,2	7,099376388	133,1103686	-185453,456
14	9,940026645	8,26211444	-100462679,7	7,454808112	136,2423773	-189817,886
15	6,91040428	8,70875868	-100462679,3	7,819347365	139,374386	-194182,316
16	6,418446579	9,15540292	-100462678,8	8,193014987	142,5063947	-198546,745
17	9,164245682	9,37872504	-100462678,6	8,383278334	144,072399	-200728,96
18	7,717165274	9,82536928	-100462678,2	8,770676674	147,2044077	-205093,39
19	11,83538091	10,27201352	-100462677,7	9,167253695	150,3364163	-209457,819
20	11,05125902	10,94197988	-100462677,1	9,779371706	155,0344294	-216004,464
21	12,41306089	12,50523472	-100462675,5	11,2884875	165,9964597	-231279,967
22	12,39158025	11,61194624	-100462676,4	10,41224957	159,7324424	-222551,108
23	8,868276238	12,05859048	-100462676	10,8457323	162,864451	-226915,538
24	12,61321176	12,72855684	-100462675,3	11,51334784	167,562464	-233462,182
25	8,670037815	12,95187896	-100462675,1	11,74053293	169,1284684	-235644,397
26	16,57755611	13,84516744	-100462674,2	12,67256418	175,3924857	-244373,256
27	16,09618558	14,29181168	-100462673,7	13,15258408	178,5244944	-248737,685
28	12,21530156	14,5151338	-100462673,5	13,39610242	180,0904987	-250919,9
29	18,9458261	14,73845592	-100462673,3	13,64196245	181,6565031	-253102,115
30	16,35736974	14,96177804	-100462673,1	13,89016619	183,2225074	-255284,33
31	10,92331766	15,6317444	-100462672,4	14,64885986	187,9205204	-261830,974
32	19,21819826	15,85506652	-100462672,2	14,90645854	189,4865248	-264013,189
33	15,8397845	16,52503288	-100462671,5	15,69338448	194,1845378	-270559,833
34	20,46720125	17,19499924	-100462670,8	16,5015457	198,8825508	-277106,478
35	16,5194339	17,64164348	-100462670,4	17,05214251	202,0145595	-281470,907
36	20,3575361	18,31160984	-100462669,7	17,89580893	206,7125725	-288017,552
37	22,58021291	18,53493196	-100462669,4	18,18177737	208,2785768	-290199,766
38	18,44325374	18,9815762	-100462669	18,76084456	211,4105855	-294564,196
39	15,15025203	19,20489832	-100462668,8	19,05394687	212,9765898	-296746,411
40	22,8790412	19,87486468	-100462668,1	19,94754983	217,6746028	-303293,055
41	23,23928763	20,0981868	-100462667,8	20,25018864	219,2406072	-305475,27
42	11,22621824	20,54483104	-100462667,4	20,86263333	222,3726158	-309839,7
43	25,52606863	20,99147528	-100462666,9	21,48464548	225,5046245	-314204,129
44	18,29977721	21,88476376	-100462666	22,7574258	231,7686419	-322932,988
45	27,88022108	22,10808588	-100462665,8	23,08162137	233,3346462	-325115,203
46	14,16600676	22,331408	-100462665,5	23,40822041	234,9006505	-327297,418
47	16,94989768	23,00137436	-100462664,8	24,40245445	239,5986635	-333844,062
48	29,84120322	23,4480186	-100462664,4	25,07732386	242,7306722	-338208,492
49	23,28674139	23,67134072	-100462664,1	25,41837732	244,2966766	-340390,707
50	26,96743134	24,11798496	-100462663,7	26,10772955	247,4286852	-344755,136
	666,5761789	666,5763282	-5023133731	654,8981034	8589,533788	-1068,51483

ANNEXE 4 : DIFFERENTS KHI CARRE CALCULES

N°	DHP	Vsmal	Khi Lin	Khi Puis
1	60	3,649965177	0,900119506	0,01607286
2	63	2,602460011	0,030993193	0,36908124
3	65	2,983122866	0,039977698	0,27695977
4	67	4,961745043	0,358230699	0,0996453
5	69	3,63505832	0,086924738	0,19538139
6	71	4,106721333	0,072298001	0,11804985
7	72	6,175467949	0,324826001	0,27135372
8	74	5,808702715	0,037749778	0,04756282
9	76	5,234710175	0,056132672	0,02537239
10	78	4,867709321	0,306588443	0,18924654
11	82	8,440253874	0,234605941	0,52381822
12	83	7,341017673	0,000104942	0,05119604
13	85	8,822825246	0,129840453	0,41838548
14	87	9,940026645	0,340758941	0,82850035
15	89	6,91040428	0,371359302	0,10565812
16	91	6,418446579	0,818197744	0,38436315
17	92	9,164245682	0,004904867	0,07275316
18	94	7,717165274	0,452351866	0,12654511
19	96	11,83538091	0,237939484	0,77655785
20	99	11,05125902	0,001091387	0,16541935
21	106	12,41306089	0,000679397	0,11203142
22	102	12,39158025	0,052345161	0,37626354
23	104	8,868276238	0,844054285	0,36054112
24	107	12,61321176	0,001045247	0,10506941
25	108	8,670037815	1,41556014	0,8030249
26	112	16,57755611	0,539245762	1,20330517
27	114	16,09618558	0,22780633	0,65878992
28	115	12,21530156	0,364394045	0,10408182
29	116	18,9458261	1,201073161	2,06209112
30	117	16,35736974	0,130176787	0,43823042
31	120	10,92331766	1,41822191	0,94749112
32	121	19,21819826	0,713377965	1,24718419
33	124	15,8397845	0,028415396	0,00136573
34	127	20,46720125	0,622698835	0,95302733
35	129	16,5194339	0,071385318	0,01664181
36	132	20,3575361	0,228588	0,3386324
37	133	22,58021291	0,88288956	1,06404532
38	135	18,44325374	0,015266965	0,0053763
39	136	15,15025203	0,856039758	0,79977306
40	139	22,8790412	0,454094994	0,43081189
41	140	23,23928763	0,490915649	0,44121627
42	142	11,22621824	4,226685747	4,45104385
43	144	25,52606863	0,979566065	0,76022204
44	148	18,29977721	0,587263757	0,87314933
45	149	27,88022108	1,507029826	0,99761446
46	150	14,16600676	2,985650407	3,64908189
47	153	16,94989768	1,592094867	2,27602525
48	155	29,84120322	1,743124238	0,90498279
49	156	23,28674139	0,006248765	0,17876325
50	158	26,96743134	0,336651038	0,02830913
			22, 084	21,344

ANNEXE 5 : BAREME DE CUBAGE SPECIFIQUE DE SAPELLI (*Entandrophragma cylindricum*)

Tarif de cubage de FORABOLA

Essence: *Entandrophragma cylindricum*

Territoire d'application: BASOKO, PO)

Equation de Régression: $Y = 0,00628 X^{2,10055254}$

DHP	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
60	3,4157	3,5363	3,6592	3,7843	3,9116	4,0410	4,1727	4,3067	4,4428	4,5811
70	4,7217	4,8645	5,0096	5,1568	5,3063	5,4581	5,6121	5,7683	5,9268	6,0875
80	6,2505	6,4157	6,5833	6,7530	6,9251	7,0994	7,2760	7,4548	7,6359	7,8193
90	8,0050	8,1930	8,3833	8,5758	8,7707	8,9678	9,1673	9,3690	9,5730	9,7794
100	9,9880	10,1990	10,4122	10,6278	10,8457	11,0659	11,2885	11,5133	11,7405	11,9700
110	12,2019	12,4361	12,6726	12,9114	13,1526	13,3961	13,6420	13,8902	14,1407	14,3936
120	14,6489	14,9065	15,1664	15,4287	15,6934	15,9604	16,2298	16,5015	16,7757	17,0521
130	17,3310	17,6122	17,8958	18,1818	18,4701	18,7608	19,0539	19,3494	19,6473	19,9475
140	20,2502	20,5552	20,8626	21,1724	21,4846	21,7992	22,1162	22,4356	22,7574	23,0816
150	23,4082	23,7372	24,0686	24,4025	24,7387	25,0773	25,4184	25,7618	26,1077	26,4560

Tarif de cubage de Bandundu

Essence: *Entandrophragma cylindricum*

Territoire d'application: Bandundu

Equation de Régression: $Y = 0,00002314 X^{2,72912}$

DHP	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
60	1,6487	1,7248	1,8031	1,8836	1,9663	2,0513	2,1385	2,2281	2,3201	2,4144
70	2,5111	2,6102	2,7117	2,8158	2,9223	3,0313	3,1429	3,2570	3,3738	3,4931
80	3,6151	3,7398	3,8671	3,9972	4,1300	4,2656	4,4039	4,5451	4,6891	4,8360
90	4,9857	5,1383	5,2939	5,4524	5,6139	5,7784	5,9459	6,1165	6,2901	6,4668
100	6,6467	6,8296	7,0158	7,2051	7,3976	7,5933	7,7923	7,9946	8,2001	8,4090
110	8,6212	8,8368	9,0558	9,2781	9,5039	9,7332	9,9659	10,2021	10,4419	10,6851
120	10,9320	11,1824	11,4364	11,6941	11,9554	12,2203	12,4890	12,7613	13,0374	13,3173
130	13,6009	13,8884	14,1796	14,4747	14,7736	15,0765	15,3832	15,6939	16,0085	16,3271
140	16,6496	16,9762	17,3068	17,6414	17,9802	18,3230	18,6699	19,0210	19,3762	19,7356
150	20,0991	20,4669	20,8390	21,2153	21,5958	21,9807	22,3699	22,7634	23,1613	23,5635

ANNEXE 5: BAREME DE CUBAGE SPECIFIQUE DE SAPELLI (*Entandrophragma cylindricum*)
(Suite)

Tarif de cubage de Bas-Congo

Essence: *Entandrophragma cylindricum*

Territoire d'application: Bas-Congo

Equation de Régression: $Y = 0,0003004 X + 2,2349002$

DHP	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
60	1,5658	1,6209	1,6769	1,7340	1,7920	1,6769	1,9111	1,6769	2,0341	2,0971
70	2,1612	2,2262	2,2923	2,3593	2,4274	2,4965	2,5666	2,6377	2,7098	2,7829
80	2,8570	2,9322	3,0084	3,0856	3,1638	3,0084	3,3233	3,4046	3,4869	3,5703
90	3,6547	3,7401	3,8265	3,9139	4,0024	4,0920	4,1825	4,2741	4,3667	4,4604
100	4,5551	4,6508	4,7476	4,8454	4,9443	5,0442	5,1451	5,2471	5,3502	5,4542
110	5,5594	5,6655	5,7728	5,8810	5,9903	6,1007	6,2121	6,3246	6,4381	6,5527
120	6,6683	6,7850	6,9028	7,0216	7,1415	7,2624	7,3844	7,5074	7,6315	7,7567
130	7,8829	8,0102	8,1385	8,2679	8,3984	8,5300	8,6626	8,7963	8,9310	9,0668
140	9,2037	9,3417	9,4807	9,6208	9,7620	9,9042	10,0476	10,1920	10,3374	10,4840
150	10,6316	10,7803	10,9301	11,0809	11,2329	11,3859	11,5400	11,6952	11,8514	12,0088

Tarif de cubage de Equateur

Essence: *Entandrophragma cylindricum*

Territoire d'application: Equateur

Equation de Régression: $Y = 0,0051522 X + 2,13691575$

DHP	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
60	3,2490	3,3658	3,4848	3,6061	3,7295	3,8551	3,9829	4,1130	4,2453	4,3798
70	4,5166	4,6556	4,7968	4,9403	5,0861	5,2341	5,3843	5,5369	5,6917	5,8487
80	6,0081	6,1697	6,3336	6,4998	6,6683	6,8391	7,0122	7,1876	7,3653	7,5453
90	7,7276	7,9122	8,0992	8,2885	8,4801	8,6740	8,8703	9,0689	9,2699	9,4732
100	9,6789	9,8869	10,0972	10,3099	10,5250	10,7425	10,9623	11,1845	11,4090	11,6359
110	11,8653	12,0969	12,3310	12,5675	12,8063	13,0476	13,2912	13,5373	13,7857	14,0366
120	14,2899	14,5455	14,8036	15,0641	15,3270	15,5924	15,8602	16,1304	16,4030	16,6780
130	16,9555	17,2355	17,5178	17,8027	18,0899	18,3796	18,6718	18,9664	19,2634	19,5630
140	19,8650	20,1694	20,4763	20,7857	21,0975	21,4118	21,7286	22,0479	22,3696	22,6939
150	23,0206	23,3498	23,6815	24,0156	24,3523	24,6915	25,0331	25,3773	25,7240	26,0731