

UNIVERSITE DE KISANGANI
FACULTE DES SCIENCES AGRONOMIQUES

« F.S.A. »
B.P.2012
KISANGANI

Contribution à l'élaboration d'un tarif de
cubage de *Brachystegia laurentii* (de wild) Louis
dans la foret de Biaro
(P.K. 41, Ubundu, Province Orientale, R.D.C.)

Par

Odon LOFOFO LOBELA

3ème ex.



Mémoire

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

Option : Agronomie générale

Orientation : Eaux et forêts

Encadreur : Ir. Faustin MBAYU M.

Directeur : Prof. Dr Ir. LOKOMBE DIMANDJA

08

08-E.F.

ANNEE ACADEMIQUE 2007- 2008

DEDICACE

On n'arrive au triomphe après avoir surmonté maintes difficultés.
A mon regretté feu père LOFOFO LOBELA Ghislain ;
A ma mère LIPO MAWAZO Monique ;
A ma tante LOFOFO ITALIMO Hermine.

Je dédie ce travail.



REMERCIEMENTS

Toute personne peut t'abandonner mais il y a une seule personne qui ne t'abandonnera jamais, dans le bonheur comme dans la souffrance ; il est toujours à côté de toi, il te garde et te bénit. Merci Eternel Dieu pour tes diverses solutions aux problèmes relatifs à mes études universitaires.

Nous pensons au Professeur Docteur Ingénieur LOKOMBE DIMANDJA et à l'Ingénieur Faustin MBAYU qui, en dépit de leurs tâches, ont bien voulu conduire ce travail jusqu'à l'étape finale. Leurs dévouements, leurs corrections, leurs critiques pertinentes ont fait de ce travail ce qu'il est. Nous leurs adressons nos sincères remerciements.

Nos remerciements s'adressent également à tous les Professeurs, Chefs de Travaux et Assistants des Facultés des Sciences et des Sciences Agronomiques pour la sympathie et le service qu'ils nous ont rendu en assurant efficacement notre formation.

Notre gratitude s'adresse aux autorités Facultaires d'Agronomie en l'occurrence : le Doyen, Professeur Docteur Jean-Pierre MATE MWERU ; le Vice Doyen Chargé de l'enseignement, le C.T. BOLA MBELE ; le Vice Doyen Chargé de la recherche, le C.T. OKANGOLA.

Nous adressons également nos sincères gratitudee à toutes nos familles LOFOFO, LIPO... Que votre attachement, votre bienveillance trouvent ici l'expression de notre profonde reconnaissance.

A ma bien aimée Solange MANGOLA pour ton affection, ta patience et ton courage, je suis de cœur avec toi.

Que nos collègues et amis trouvent ici l'expression de notre profonde reconnaissance pour leur encouragement et leur soutien considérable pendant la réalisation de ce travail.

Enfin, notre franche gratitude s'adresse à tous ceux qui nous ont facilité la tâche pour l'élaboration de ce travail.

Odon LOFOFO LOBELA



RESUME

Cette étude a pour but l'élaboration d'un tarif de cubage local à une entrée de *Brachystegia laurentii* dans la forêt de Biaro.

Un échantillon de 120 tiges de *Brachystegia laurentii* ayant au moins 10 cm de diamètre à hauteur de poitrine a été retenu.

Le volume fût observé (de l'échantillon) avait été calculé sur base de 3 variables : le diamètre à hauteur poitrine (DHP), le diamètre au fin bout (DFB) et la hauteur fût (HF)

Quant à l'estimation du volume, nous avons recouru à 6 modèles de régression : linéaire, logarithmique, puissance, exponentielle, inverse et quadratique. En vue de les ajuster, quelques paramètres statistiques ont été vérifiés : le coefficient de détermination, l'écart type résiduel et le coefficient de variation résiduelle.

Le tarif de cubage local à une entrée de *Brachystegia laurentii* retenu est de modèle puissance : $Y = 15,22 \text{ DHP}^{2,78} (r=0,97)$

SUMMARY

The goal of this study is elaborate a tariff of local cubage with one way of *Brachystegia laurentii* in the forest of Biaro.

A sample of 120 stems of *Brachystegia laurentii* with at least 10 cm of diameter way up breast has been kept.

The volume of the trunk watched has been calculated according of 3 variables: the diameter way up breast (DWB), the diameter at the top of the tree (DTT) and the height of the tree (HT).

About the value of the volume, we have resorted to 6 models of regression (lenary, logarithmical power, exponential, inverse and quadratic. In order to add them. Some statistic levels have been verified such as the coefficient of determination, the ecart-type and the coefficient of residual variation.

The tariff of local cubage with one way of *Brachystegia laurentii* kept is the power model: $y = 15,22 \text{ DHP}^{2,78}$ ($r=0,97$).

TABLE DES MATIERES

DEDICACE

REMERCIEMENTS

RESUMES

TABLE DES MATIERES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

LISTE DES ANNEXES

ABREVIATION

0. INTRODUCTION	1
0.1. Problématique	1
0.2. Hypothèse	2
0.3. Objectifs	2
0.3.1. Objectif général	2
0.3.2. Objectifs spécifiques	3
0.4. Intérêts	3
0.5. Choix du sujet	3
0.6. Revue littéraire	3
0.7. Subdivision du travail	4
Chapitre premier : GENERALITES	6
1.1. MILIEU D'ETUDE	6
1.1.1. Climat	6
1.1.2. Sol	6
1.1.3. Végétation	7
1.1.4. Actions anthropiques	7
1.2. GENERALITES SUR L'ESSENCE	8
1.2.1. Dénomination	8
1.2.2. Description botanique	8
1.2.3. Caractère physique, mécanique et technologique	9
1.2.4. Aire géographique sur le genre et habitat	10
1.3. TARIF DE CUBAGE	11
1.3.1. Définitions de concept volume	11
1.3.2. Définitions de tarif de cubage	12
1.3.3. Estimation du volume	13
1.3.4. Validité des tarifs de cubage	14
1.3.5. Taille d'échantillon	14
1.3.6. Usages de tarif de cubage	14
Chapitre deuxième : MATERIELS ET METHODES	16
2.1. PLAN DE SONDAGE	16
2.2. MATERIELS	16

2.2.1. Matériels biologiques	16
2.2.2. Matériels techniques	16
2.3. METHODES	17
2.4. TRAITEMENT DES DONNEES	20
2.4.1. Complication des données brutes.....	21
2.4.2. Calcul des volumes individuels.....	22
2.4.3. Construction proprement dite tarif de cubage.....	23
2.4.3.1. Sélection des équations de régression	23
2.4.3.2 Analyse statistique	24
2.4.3.3. Précision de tarif de cubage.....	25
2.4.3.4. Calculs d'erreur-type sur le coefficient de corrélation.....	26
2.4.3.5. Construction d'une table et graphique de cubage	26
2.4.3.6. Bref aperçu du tarif de cubage étudié	27
2.4.3.7. Difficultés rencontrées.....	27
Chapitre troisième : ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS	28
3.1. CARACTERISTIQUE DENDROMETRIQUES.....	28
3.1.1. Densité.....	28
3.1.2. Diamètre à hauteur de poitrine	29
3.1.4. Hauteur fût.....	31
3.2. ELABORATION D'UN TARIF DE CUBAGE	32
3.2.1. Présentation de modèle des équations de régression	32
3.2.2. Choix du modèle de régression	32
3.2.3. Test d'ajustement de Khi carré de Pearson.....	33
3.2.4. Ecart-type résiduel, coefficient de variation résiduelle et intervalle de confiance.....	34
3.2.5. Précision du tarif de cubage	34
3.2.6. Calcul d'erreur-type sur coefficient de corrélation.....	35
3.3. CONSTRUCTION DU TARIF CUBAGE LOCAL.....	35
3.3.1. Equation de régression.....	35
3.3.2. Barème de cubage	36
3.3.3. Graphique de volume	37
Chapitre quatrième : DISCUSSION	38
4.1. DENSITE FORET	38
4.2. STRUCTURE DIAMETRIQUE.....	39
4.3. COMPARAISON DE TARIF DU PRESENT TRAVAIL AVEC CEUX DES AUTRES PROVINCES (FRM).....	40
4.4. COMPARAISON DE BAREME DU PRESENT TRAVAIL AVEC CEUX DES AUTRES PROVINCES.....	41
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....	45
A. CONCLUSION	45
B. RECOMMANDATIONS.....	46
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	47
ANNEXES	

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau I : Nombre de tiges par essence, par hectare et par classe de DHP
- Tableau II : Distribution des tiges par classe de DHP
- Tableau III : Distribution des tiges par classe de DFB
- Tableau IV : Distribution des tiges par classe d'HF
- Tableau V : Caractéristiques des équations de régression
- Tableau VI : Equation de tarif de cubage des six différents modèles
- Tableau VII : Appréciation de la qualité d'ajustement par le test de χ^2
- Tableau VIII : Ecart-type résiduel, coefficient de variation résiduelle et intervalle de confiance
- Tableau IX : Forme de l'équation de régression retenue
- Tableau X : Barème de cubage correspondant à l'équation retenue
- Tableau XI : Comparaison de la densité de la forêt de Biaro avec ceux des autres forêts
- Tableau XII : Comparaison de la structure diamétrique de *Brachystegia laurentii* avec celle des autres essences
- Tableau XIII : Comparaison du tarif de la forêt de Biaro avec ceux des autres provinces
- Tableau XIV : Comparaison du barème de la forêt de Biaro avec ceux des autres provinces.

LISTES DES FIGURES

- Figure I : Géométrie de la parcelle échantillon
- Figure II : Totalité de parcelle d'inventaire dans les différentes classes de diamètre
- Figure III : Distribution des tiges par classe de DHP
- Figure IV : Distribution des tiges par classe DFB
- Figure V : Distribution des tiges par classe d'HF
- Figure VI : Modèle d'équation de régression retenue (puissance)
- Figure VII : Courbes de comparaison de structure de DHP à 3 essences
- Figure VIII : Modèle d'équation de régression linéaire
- Figure IX : Modèle d'équation de régression logarithmique
- Figure X : Modèle d'équation de régression exponentielle
- Figure XI : Modèle d'équation de régression inverse
- Figure XII : Modèle d'équation de régression quadratique.

LISTE DES ANNEXES

- Annexe I : Nombre de tiges par essence, par hectare et par classe de DHP
- Annexe II : Distribution des tiges par classe de DHP
- Annexe III : Distribution des tiges par classe de DFB
- Annexe IV : Distribution des tiges par classe d'HF
- Annexe V : Six modèles d'équations de régression
- Annexe VII : Volume observé (Y_o) et volumes calculés (Y_c) de ces 6 équations de régression
- Annexe VIII : Somme des carrés des écarts (SCE) et Khi carré (χ^2) des équations exponentielle et puissance.



ABREVIATION

a, b et c	: Coefficients de régression
C.V	: Coefficient de variation
CVR	: Coefficient de variation Résiduelle
Cm	: Centimètre
DHP	: Diamètre à hauteur de Poitrine
DFB	: Diamètre au Fin Bout
ECT	: Ecart-type
ECTR	: Ecart-type Résiduel
FAO	: Food Alimentation Organisation
FRM	: Forêt Ressources Management
Ha	: Hectare
HF	: Hauteur-Fut
IC	: Intervalle de confiance
MENS	: Milieu-Education, Nature et Société
M	: mètre
ONG	: Organisation Non Gouvernementale
r	: Coefficient de Corrélacion
R	: Coefficient de détermination
\bar{X}	: La moyenne
χ^2	: Chi-carré ou chi-deux
TEREA	: Terre Environnement Aménagement
Y_c	: Volume calculé
Y_o	: Volume observé
$\phi \bar{X}$: Diamètre moyen
GPS	: Système de positionnement géographique

0. INTRODUCTION

0.1. Problématique

Dans le monde, la forêt occupe près de 4 milliards d'hectares, soit environ 1/3 des terres émergées (FRM, 2006). Les forêts tropicales humides représentent environ 47% de la superficie forestière mondiale, soit 1,8 milliard d'hectares répartis inégalement sur 3 continents : 28 % en Afrique, 18 % en Asie et 53 % en Amérique (FAO, 2001).

En Afrique, six pays d'Afrique Centrale (le Gabon, le Cameroun, la République Centrafricaine, la République du Congo, la Guinée Equatoriale et la République Démocratique du Congo) possèdent la plus grande superficie forestière dénommée « bassin du Congo », couvrant environ 198 millions d'hectares (Boyemba, 2006).

La République Démocratique du Congo, quant à elle-même, comprend la majorité des forêts tropicales d'Afrique centrale. Elle conserve pas moins de 145 millions d'hectares des forêts, soit 62 % du territoire national et contient environ la moitié des forêts denses humides du continent (Boyemba, 2006). Le capital ligneux de la R.D.C. est encore peu connu. Les informations disponibles sont loin d'être complètes et seules des estimations grossières sont possibles. La R.D.Congo compte environ 86 millions d'hectares des forêts denses, dont environ 60 millions d'hectares seraient en théorie aptes à la production de bois d'œuvre (MECNEF, 1977 ; FAO, 2001), ce qui équivaut à peu près à l'ensemble des autres pays d'Afrique centrale.

Dans l'ensemble, le capital ligneux de la R.D.Congo demeure relativement intact par comparaison avec celui des autres pays tropicaux. La plupart de ces inventaires se concentrent sur un petit nombre d'espèces à haute valeur, alors que ces forêts comptent beaucoup d'autres espèces certes moins connues aptes à fournir du bois d'œuvre de bonne qualité (Debroux et al, 2007).

Il faut souligner que seule une fraction de ce bois est physiquement accessible à ce jour, et que les choix d'affectation des forêts devront se faire dans le

cadre de processus participatifs qui sécurisent les droits traditionnels et considèrent toutes les options possibles.

De ce fait, l'estimation forestière est un problème le plus important qui se pose aux gestionnaires forestiers. L'inventaire forestier seul ne suffirait pas. Cependant, les recherches doivent être orientées vers la connaissance détaillée de certains paramètres dendrométriques de certaines espèces pour permettre d'avoir des notions préalables dans le domaine forestier.

En ce qui nous concerne, le problème qui se pose est la contribution à l'élaboration d'un tarif de cubage spécifique de *Brachystegia laurentii* dans la forêt dense humide de la localité de Biaro.

Le tarif de cubage n'étant que la relation statistique. Ils ne sont utilisables que pour l'essence, la région et les catégories de diamètres, des arbres échantillons qui ont servi à les construire (CTFT, 1987 cité par Biguma, 2006).

0.2. Hypothèse

Pour bien mener cette étude, nous formulons deux hypothèses suivantes :

- La relation entre le volume fût et le diamètre à hauteur de poitrine peut s'exprimer par la régression puissance ;
- Le tarif de cubage effectué est proche de celui de la Province Orientale élaboré par FRM.

0.3. Objectifs

0.3.1. Objectif général

L'objectif général que se fixe cette étude est de contribuer à l'élaboration d'un tarif de cubage de *Brachystegia laurentii*.

0.3.2. Objectifs spécifiques

Comme objectifs spécifiques :

- Déterminer le volume individuel de *Brachystegia laurentii*.
- Calculer et choisir parmi les six équations de régression (linéaire, logarithmique, exponentielle, puissance, inverse et quadratique) celle qui peut servir le mieux à l'élaboration d'un tarif de cubage.

0.4. Intérêts

Economiquement, cette étude nous procure son intérêt auprès des utilisateurs qui sont : les exploitants forestiers, les aménagistes, les gestionnaires, les sylviculteurs, les riverains et dans la commercialisation de bois parce que le volume est évalué avec certaine précision.

Sur le plan scientifique, cette étude nous apporte des informations lucides à l'élaboration d'un tarif de *Brachystegia laurentii* à partir des principaux paramètres dendrométriques par des modèles simples de régression.

Son intérêt pratique s'illustre en ce sens que ce travail est un outil approprié pour lire le volume d'un arbre connaissant son DHP.

0.5. Choix du sujet

Le choix de ce sujet justifie essentiellement qu'il faudrait approfondir les études dendrométriques pour faire valoir sa valeur commerciale.

0.6. Revue de littérature

Les recherches sur le tarif de cubage ont fait l'objet de plusieurs études. Nous nous limitons à citer quelques travaux réalisés ici à Kisangani :

- En 2006, BIGUMA contribue à l'élaboration d'un tarif de cubage de *staudtia kamerunensis (s. stipitata)* dans la réserve floristique de Loweo (YANGAMBI, R.D.C.). Mémoire inédit, Fac des Sc. Agron./UNIKIS. Il a utilisé un

échantillon de 40 tiges de l'espèce ayant les DHP \geq à 10 cm et proposé 4 équations de régression pour maintenir la régression puissance.

- En 2006, KAMBALE contribue à l'élaboration d'un tarif de cubage de *gilletiondendron kisantueuse* (Vermoesen ex De Wild) J. Leonard dans la réserve forestière de Yoko (bloc Nord) Ubundu, Province Orientale, R.D.C. Mémoire Inédit, Fac des Sc. Agron./UNIKIS. Il a utilisé un échantillon de 68 tiges de l'espèce ayant les DHP \geq à 10 cm et proposé 6 équations de régression pour maintenir la régression exponentielle.
- En 2006, KAHINDO contribue à l'élaboration de tarif de cubage de *funtumia africana* (benth) stapf dans la réserve forestière de Yoko (bloc Nord) Ubundu, Province Orientale, R.D.C. Mémoire inédit, Fac des Sc.Agron./UNIKIS. Il a utilisé un échantillon de 60 tiges de l'espèce ayant les DHP \geq à 10cm et proposé 4 équations de régression pour maintenir la régression exponentielle.
- En 2007, OTOMABONGAA contribue à l'élaboration d'un tarif de cubage de *Petersianthus macrocarpus* (P. beauv) liben, 1968 dans la réserve forestière de Masako (Kisangani, R.D.C.) ISEA/Bengamisa. Il a utilisé un échantillon de 53 tiges de l'espèce ayant les DHP \geq à 10 cm et proposé 6 équations de régression pour maintenir la régression puissance.

De ces contributions, on constate que les modèles puissances et exponentielles sont maintenus et présentent une bonne corrélation.

En ce qui nous concerne, notre étude se rapporte aussi à une essence aussi importante de 2^{ème} classe qui occupe une bonne partie des forêts denses humides congolaises, précisément dans la forêt de Biaro pour essayer de comparer avec les autres études sur la même espèce pour voir si le modèle serait aussi le même.

0.7. Subdivision du travail

Cette étude s'articule de la façon suivante ; après une brève introduction, elle comporte 4 chapitres :

- le premier chapitre nous expose les généralités ;
- le deuxième chapitre nous parle de matériels et méthodes utilisés ;
- le troisième chapitre nous présente les résultats ;

- le quatrième chapitre se rapporte à la discussion des résultats.

Et enfin, une conclusion et recommandation clôtureront ce modeste travail.

Chapitre premier : GENERALITES

1.1. MILIEU D'ETUDE

La présence étude s'effectue dans la forêt dense humide de Biaro. Cette forêt se situe dans le secteur de Biaro, collectivité de Bakumu-Mangongo, territoire d'Ubundu, district de la Tshopo, en Province Orientale. Elle s'étend au point kilométrique 38 à 48 sur l'axe routier Kisangani-Ubundu.

Ses coordonnées géographiques prélevées par GPS indiquent qu'elle se trouve à 427 m d'altitude, 00° 13' 39 " de la latitude Nord ; 25° 24' 34" de la longitude Est.

1.1.1. CLIMAT

De part sa position dans les périphéries de la ville de Kisangani et par manque des données climatiques caractéristiques de Biaro, son climat est assimilé à celui de la ville de Kisangani. En effet, Kisangani (et ses environs) jouit d'un climat du type équatorial. De ce fait, les températures sont généralement élevées et quasiment constantes toute l'année (Mate, 2001).

D'après le service météorologique, la moyenne de précipitation est élevée pendant toute l'année 1.728,4 mm (minimale : 1.417,5 mm et maximale : 1.915,4 mm) avec deux minima au mois de décembre, janvier et février ainsi juin, juillet et août, correspondant à deux saisons de faibles pluviosités, humidités relatives moyennes étant élevées à 82 % (minimale 81 et maximale 83) et les températures moyennes mensuelles oscillant entre 23,7 et 26°C (Mangabu, 2002).

1.1.2. SOL

Les sols ferrallitiques (classification française) encore appelés ferralsols (classification de la FAO) ou encore oxisols sont caractérisés par une épaisseur considérable et une coloration rouge à jaune, le PH acide, moyennement et fortement saturés en (B), typiques, appauvris, remaniés ou non avec apports éoliens

(Kombele, 2004) et couvrent en général les plateaux. Ils sont caractérisés par une faible capacité d'échange cationique dans la fraction minérale, une faible teneur en minéraux primaires et une faible activité biologique de l'argile. Cependant, ces sols ont une assez bonne structure et sont munis d'une certaine stabilité (Masangu, 2004).

Les fluctuations thermométriques sont également importantes dans la région de Kisangani, entre 20-30° (Kamabu et Lejoly, 1994).

Les températures moyennes sont généralement constantes durant toute l'année, plus ou moins 25°C, les plus élevées peuvent atteindre 36,7°C (Boyemba, 2006).

1.2.3. VEGETATION

La végétation naturelle de Kisangani est celle de la cuvette congolaise est caractérisée par des forêts ombrophiles sempervirentes et des forêts liées aux sols hydromorphes.

La région de Kisangani (Boyemba, 2006) :

- les forêts denses sur sols hydromorphes ;
- les forêts denses de terre ferme constitués principalement de :
 - Forêts denses sempervirentes ;
 - Et forêts dense semi-décidues.

1.2.4. ACTIONS ANTHROPIQUES

La majorité de la population rurale congolaise dépend des forêts pour leur vie quotidienne. Les populations riveraines des environs y pénètrent pour faire des champs et y exploitent les produits forestiers ligneux (bois construction : maison, pirogue, ...) et non ligneux (rotins, les feuilles des marantacée, ...).

La forêt de Biaro n'est à l'abri de ces pratiques elle aussi. Le danger imminent est que cette agriculture est traditionnelle ; elle est caractérisée par le nomadisme culturel. De ce fait, elle provoque le recul de la forêt. Elle repose comme partout en R.D. Congo sur une agriculture itinérante de la jachère. Malheureusement, avec la croissance démographique accrue, cette période de

repos du sol est actuellement très écourtée (environ 5 ans) ; et, ne permet plus aux sols exploités intensivement de se reconstituer (Mate, 2001).

1.2. GENERALITES SUR L'ESSENCE

1.2. 1. DENOMINATION

D'après TAILFER, 1989 :

- Dénomination scientifique : *Brachystegia laurentii* (De Wild) Louis
- Dénomination commerciale : Bomanga.
- Dénomination vernaculaire ou nom local des différentes ethnies :
 - ❖ En R.D. Congo : - Esole li libande (Turumbu)
 - Bomanga (Lac Mai Ndombe)
 - Bongo, tenda (Bakumu)
 - Manga, Mutshuna (Kisongola)
 - Mubangu (Luba)
 - Mpaka : dialecte de la région de Kwilu
 - Mpaka : dialecte de la région de Kwilu

❖ En Rép. Du Congo : Bomanga

❖ Au Gabon : Andoung, Nzobeu.

1.2.2. DESCRIPTION BOTANIQUE

Espèce : *Brachystegia laurentii*

Famille : Fabaceae (caesalpiniaceae)

Une essence, dédiée à Emile Laurent, botaniste belge qui, de 1893 à 1904, s'illustra au Congo et mourut au retour de sa troisième expédition. Les caractéristiques de l'espèce sont les suivantes :

- Habitat : Grégaire, en forêt dense humide semi-décidue. Sciaphyte.

- Port : Arbre à feuillage sempervirent, atteignant 45 m de haut et 175 cm de diamètre. Cime large en pyramide renversée et abondamment charpentée.
- Fût : Droit, cylindrique, parfois légèrement épaissi ou empâté à la base avec l'âge.
- Ecorce : Gris foncé, lisse, à bourrelets horizontaux, lenticellée à la base, se desquamant chez les vieux sujets en plaques irrégulières dispersées. Tranche épaisse de 0,5-2 cm, très fibreuse mais dure, rougeâtre. Exsudat gélatineux, jaunâtre, tardif, peu abondant.
- Bois : Aubier blanc jaunâtre à veines brunâtres ; Duramen beige-jaune à brun à reflets cuivrés, à grain moyen ; mi-lourd, mi-dur, peu durable. Tranchant, déroulage, menuiserie.
- Feuilles : jeune feuillage parfois rougeâtre. Pétiole et rachis long de 9-15 en cm. Pétiole renflé à la base, robuste, canaliculé, long d'environ 0,5 cm. Rachis canaliculé, plus au moins anguleux, épais, long de 8-14 cm. 5-7 paires opposées de folioles subsessiles. Paire basale minuscule et caduque laissant des cicatrices visibles sur le rachis. Limbe oblong, plus ou moins falciforme, 3-10 cm / 1-4 cm acuminé, obtus ou emarginé au sommet, cuneiforme-arrondi et très asymétrique à la base, coriace. Nervure primaire excentrique, environ 12 paires de nervures secondaires camptodromes reliées près de la marge dont 3 nervures basales.
- Fleurs : Blanc jaune, de type 5, 6-8 tépales minuscules, 10 étamines, réunies en panicule terminales, hermaphrodites, très petites, odorantes.
- Fruits : Gousses oblongues Subrectangulaires. 15-25 cm / 6-8 cm, ligneuses, à suture supérieure ailée, à pédoncule caudé. 3-6 grandes graines plus au moins circulaires, aplaties, brunes.
Rameau de feuilles paripennées alternes (Gauthier et al, 1997) et (Tailfer, 1989).

1.2.3. CARACTERE PHYSIQUE, MECANIQUE ET TECHNOLOGIE

Selon NANSON et al, 1975 : les propriétés indiquées ci-dessous concernent les bois arrivés à maturités. Elles peuvent varier de façon notable suivant la provenance et les conditions des croissances de bois ainsi que de l'âge de l'arbre :

- Densité : 0,56
- Point de saturation : 28 %
- Retrait radial total : 3,7 %
- Coefficient de retrait volumique : 0,4 %.

Bracystegia laurentii a une bonne aptitude au déroulage et au tranchage. Il nécessite un acier ordinaire ou allié pour le sciage. Ce bois ne nécessite pas de traitement de préservation contre les attaques des insectes de bois sec mais il nécessite un traitement de préservation adaptée en cas d'humidification temporaire. En ce qui concerne la vitesse de séchage, elle doit être lente car le risque de déformation est élevé. Les utilisations classées par ordre d'importance décroissant sont :

- 1) Contreplaqué
- 2) Menuiserie intérieure
- 3) Lambris
- 4) Ameublement
- 5) Charpente
- 6) Panneaux de fibres
- 7) Panneaux de particule
- 8) Emballage
- 9) Ebénisterie
- 10) Ossature bois
- 11) Parquet
- 12) Cuve et produit de tonnellerie
- 13) Escalier

1.2.4. Aire géographique sur le genre et habitat

Le territoire étudié s'intègre comme suit dans la chronologie africaine de LEBRUN (Mullenders, 1954) :

- Région guinéenne ;
- Domaine du Congo - Cameroun ;
- Secteur forestier central ;
- District du bassin central en R.D. Congo.

Les forêts à *Brachystegia laurentii* ne couvrent qu'une très petite étendue dans notre pays. Elles se trouvent, en effet, confinées aux crêts de la zone centrale de la cuvette centrale (sur de hauts versants et sommets à pente variant de faible à modérer et à drainage moyen à sec). La structure de la forêt est semblable à celle de la forêt à *Gilbertiodendron dewevrei* c'est-à-dire, cinq strates bien individualisées avec un étage dominant variant de 35 à 45 m. Ce peuplement dominé par *Brachystegia laurentii* qui représente plus de 50 % de la surface terrière. Cette espèce est souvent accompagnée de *Julbernardia seretii*, de *Polyanthia suaveolens*, de *staudtia kamerunensis* et de l'*Annonidiun mannii* (Bwangoy, 2005).

1.3. TARIF DE CUBAGE

1.3.1. Définitions de concept volume

De nombreuses caractéristiques des peuplements, en dehors de la surface, sont utiles à connaître pour leur aménagement et on cherche à les estimer dans les inventaires. Les caractéristiques les plus couramment étudiées, qui sont, en général, les plus importantes sont celles qui sont en rapport avec le volume de bois : le volume brut, net ou exploitable, ventilé par essences, par groupes d'essences, classes de diamètres ou groupe de classes de diamètres, classes de qualité, jusqu'à la découpe, ...

Il est capital dans un inventaire de définir, clairement et objectivement, le volume auquel on se réfère. De trop nombreux documents d'inventaire ne définissent pas clairement le diamètre à hauteur d'homme minimum, les parties des arbres qui sont prises en considération. Les définitions suivantes sont les définitions standards recommandées pour tous les inventaires forestiers de la FAO (Fontaine, 1981).

- Volume brut : volume sous écorce d'une partie déterminée d'un arbre, sans déduction pour les défauts ;
- Volume net : volume sous d'une partie déterminée d'un arbre, après déduction des défauts et des parties inutilisables ;



- Volume total : volume de la tige principale d'un arbre. Dans le cas des arbres ramifiés, c'est le volume jusqu'à la base de la cime. Dans le cas des arbres droits, c'est le volume jusqu'au sommet de l'arbre ;
- Volume des branches : dans le cas des arbres droits, c'est le volume de toutes les branches. Dans le cas des arbres ramifiés, c'est le volume au-dessus de la base de la cime (de toutes les branches qui s'insèrent en deçà de ce point) ;
- Volume industriel : le volume net de bois rond, potentiellement utilisable, sans déductions des pertes résultant des modes d'exploitation et de transformation. C'est la somme du volume des billes et de tous autres volumes utiles ;
- Volume des billes : le volume net d'un arbre utilisable comme bois de placage, sciage, traverse, pieux et poteaux. Il peut aussi être utilisé pour la pâte à papier, les copeaux ou à d'autres fins industrielles ;
- Autres volumes utilisables : le volume net d'un arbre qui ne convient pas aux usages indiqués pour le volume des billes mais qui peut être utilisé pour les piquets, la pâte, les panneaux agglomérés et autres usages industriels.

1.3.2. DEFINITIONS DE TARIF DE CUBAGE

Plusieurs auteurs définissent le tarif de cubage selon leurs conceptions. Le terme « tarif » vient du mot arabe qui signifie tableau. MASUDI, 1982 ; DAGNELIE, 1988 cité par KAHINDO, 2006 : définit le tarif de cubage comme étant une équation (ou une formule), un tableau et un graphique qui permet d'estimer le volume d'arbres ou de peuplements forestiers : « variables expliquées » ou variables dépendants à partir des caractéristiques facilement mesurables (diamètre, hauteur, ...) sur les arbres, « variables explicatives » et qui dérivent d'analyse statistiques de régression.

Tandis que LOKOMBE, 2004 : définit le tarif de cubage comme étant un tableau chiffré, une formule ou un graphique, qui donne une estimation du volume d'un arbre ou d'un ensemble d'arbres en fonction de diverses variables qui sont les entrées du tarif.

Les entrées du tarif sont des caractéristiques de l'arbre (diamètre de référence, hauteur totale, ...) ou du peuplement (surface terrière / ha, hauteur moyenne,...) plus facilement mesurables que le volume lui-même.

1.3.3. ESTIMATION DU VOLUME

Elle peut se faire pour envisager de mesurer un en un le volume de chaque arbre. C'est pourquoi, il est nécessaire d'avoir recours à des tarifs de cubage préalablement établis (Lokombe, 2004).

D'une manière générale, il existe types de tarifs de cubage (Caillez, 1980 ; Chevrau, 1967 ; Chauvet, 1968 ; Dagnelie et al, 1988) :

- Tarifs de cubage des arbres ;
- Tarifs de cubage des peuplements.

1° Tarifs de cubage des arbres

Ils sont les tableaux qui permettent d'estimer le volume des arbres pris individuellement à partir d'un ou plusieurs de leurs caractéristiques dendrométriques.

Il peut être :

- un tarif à une entrée : le volume est estimé à partir d'un seul variable. On l'appelle aussi tarif local ou tarif spécifique ;
- un tarif à deux ou trois entrées : le volume est estimé en fonction de deux ou trois variables. Il est appelé tarif général.

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 des paramètres pris en considération.

1.3.4. VALIDITE DES TARIFS DE CUBAGE

En général, le diamètre de référence minimal concernant l'élaboration d'un tarif de cubage pour les arbres des essences étudiées est de 40 cm. Enfin, la variabilité naturelle des peuplements forestiers impose dans la mesure du possible l'élaboration de tarifs de cubages spécifiques à la zone à aménager, typiquement de l'ordre de quelques centaines des milliers d'hectares.

Les tarifs de cubage n'étant que les relations statistiques, ils ne sont pas utilisables que par l'essence de la région et les catégories de diamètre des arbres d'échantillons qui ont servi à les construire (CTFT, 1987 cités par Biguma, 2006).

1.3.5. TAILLE DE L'ECHANTILLON

Il est démontré qu'un échantillon variant 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 cette valeur n'améliore pas la qualité de la régression.

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

1.3.6. USAGES DE TARIF DE CUBAGE

Les tarifs de cubage sont généralement utilisés dans trois domaines :

- la gestion forestière ;
- la commercialisation des produits ligneux ;
- la recherche forestière.

En ce qui nous concerne, notre tarif était d'aménagement (recherche forestière). Nous avons préféré de construire avec le diamètre de référence > à 10 cm.

Pour élaborer un tarif de cubage, il faut utiliser certains critères :

- subdiviser l'échantillon en classe de mesures (catégories) ;
- au sein des classes, prendre si possible, les mêmes nombres de sujets ;
- l'arbre échantillon doit appartenir à l'une des classes de diamètres ;
- le choix doit porter sur des sujets pour lesquels les mesures de diamètres ou d hauteurs ne présentent aucune ambiguïté (pas d'arbres étranglés).

Chapitre deuxième : MATERIELS ET METHODES

2.1. PLAN DE SONDAGE

Par définition, le sondage est l'ensemble des opérations et des modalités à la cueillette de l'information sur un nombre calculé d'échantillon, dans une unité de compilation donnée en vue d'obtenir les résultats d'une précision acceptable. Il permet aussi de tirer des conclusions réalistes et de confectionner un plan d'aménagement (Mabiala, 1981 cités par Biguma, 2006).

Vu l'étendue de la forêt vaste et par manque de précision de l'interprétation de la carte forestière, il ne nous est pas permis de déterminer le taux de sondage.

2.2. MATERIELS

Deux types de matériels nous ont servi à l'exécution des travaux sur le terrain. Il s'agit des matériels biologiques et les matériels techniques.

2.2.1. MATERIELS BIOLOGIQUES

Le matériel biologique utilisé dans la réalisation de ce travail est l'essence forestière *Brachystegia laurentii*, il n'est concerné pour cette étude les essences à DHP > à 10 cm.

2.2.2. MATERIELS TECHNIQUES

Le matériel technique a porté sur les différents instruments utilisés sont :

- un relascope de bitterlich : pour la prise des mesures des diamètres et des hauteurs ;
- deux galons en toile dont l'un de 50 m et l'autre de 10m : pour le chaînage du layon ;
- une boussole K.E. sur pied de Jacob : pour l'orientation des layons ;

- des machettes : pour ouvrir les layons et dégager les bases de pieds ;
- une perche de 1,30 m : pour indiquer le niveau de DHP ;
- des cahiers de comptage, un stylo, un crayon et gomme : pour la prise des données ;
- une calculatrice de marque KENKO KK-350TL.

2.3. METHODES

Les travaux du terrain ont été décomposés en 3 étapes qui sont :

- Repère de site (prospection)
- Délimitation de parcelle échantillon (layonnage)
- Dégagement, dénombrement et mesures dendrométriques (comptage).

a. Prospection

Elle permet la détermination du lieu d'inventaire. L'inventaire d'aménagement doit s'appuyer sur des points de base géo référencés, relevés au GPS. Ces points de base sont matérialisés par des piquets et implantées avec le maximum de précision.

b. Layonnage

Cette phase permet la délimitation de parcelle échantillon. C'est un travail qui consiste à matérialiser sur le terrain, l'ensemble des layons définis par le plan de sondage. Des layons de base peuvent être planifiés pour faciliter l'accès. Chaque départ de layon est matérialisé par un piquet portant le numéro du layon de la parcelle et sa longueur si possible (Mabila 1981 cité par Kambale, 2006).

Dans le cas des forêts denses humides d'Afrique centrale, il est généralement admis que 0,5 ha est compromis acceptable pour la surface de parcelles, au regard de la variabilité des paramètres estimés. Pour des considérations pratiques, les parcelles sont de formes rectangulaires et centrées sur l'axe du layon (TEREA, 2006).

En général, nos parcelles ont été limitées de 0,5 ha. Celles-ci font 25 m de large (12,5 de part et d'autres de layon principal) contre 200 de long. En ce qui nous concerne, notre champ d'expérimentation était centré d'un layon principal de 1.200 m contre 25 m, soit la superficie de 3 ha.

Notre terrain d'expérimentation, suite à un obstacle dû au ruisseau, les 2 premières parcelles étaient de l'autre rive et les 4 autres sur la ligne d'arrivée du terrain.

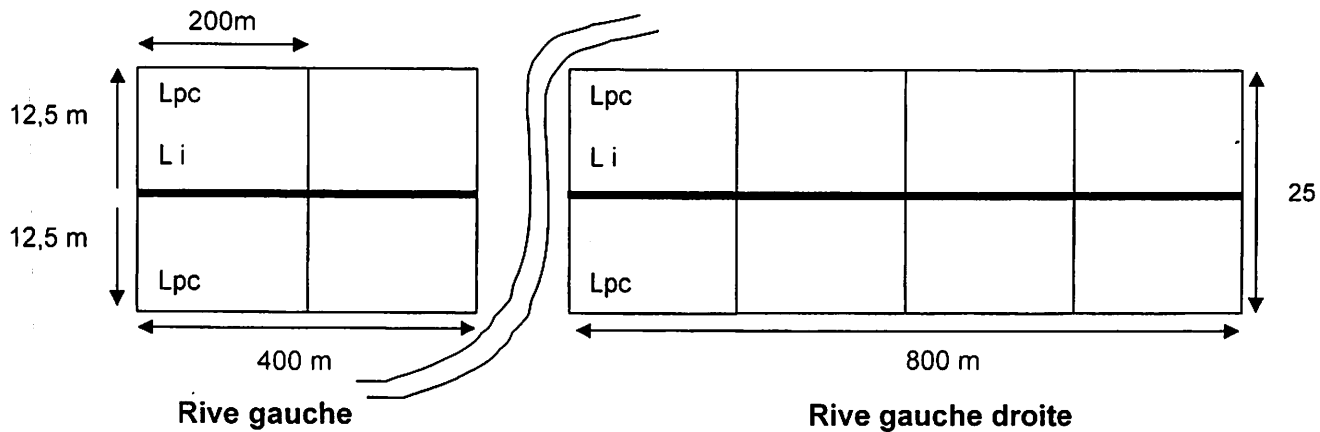


Fig. 1 : illustre la géométrie de la parcelle échantillon.

Légende

- : Layon d'inventaire (Li)
- : Limite de parcelle des comptages (Lpc)
- ∩ : Petit ruisseau

c. Comptage

Par définition :

- Dégagement : consiste de se débarrasser de tous les obstacles ou la végétation encombrante qui se trouvent à coté de l'arbre à inventaire ;
- Dénombrement : a pour but de recenser l'arbre à inventorier ;
- Les mesures dendrométriques : sont enfin les prises de mesures de l'arbre en fonction de différents paramètres envisagés.

Les paramètres qui ont été retenus pour cette étude sont les suivantes :

- DHP : le diamètre à hauteur de poitrine (à 1,30 du sol). Il est le paramètre le plus utilisé dans les inventaires des forêts tropicales. On l'appelle aussi « diamètre de référence ».
- DFB : Le diamètre au fin bout (à la ramification de la première grosse branche). Il est le paramètre mesuré et utilisé dans l'évaluation des volumes.
- HF : La hauteur fût. Elle est la portion de l'arbre la plus recherchée par les utilisateurs de bois.

Le comptage suit immédiatement le layonnage. Elle consiste principalement à l'identification botanique des arbres (à partir du nom pilote traduit ensuite en son scientifique) et à en mesurer. L'identification d'un arbre peut se faire de diverses façons qui sont :

- Comparaison du spécimen aux illustrations d'un manuel ;
- Comparaison du spécimen à ceux d'un herbier ;
- Utilisation de la clé dichotomique.

De ce fait, il y a d'autres moyens secondaires utilisés pour identifier un arbre sont : appellation vernaculaire, habitat et, distribution.

Pour des raisons de recherche et les caractéristiques impérieuses de l'aménagement forestier en général, l'inventaire systématique s'impose et concerne les arbres à DHP > à 10 cm.

Pour ce faire, une placette compte environ trois subdivisions dont la procédure est illustrée par la figure n° 2 de la totalité de parcelle d'inventaire dans les différentes classes de diamètre :

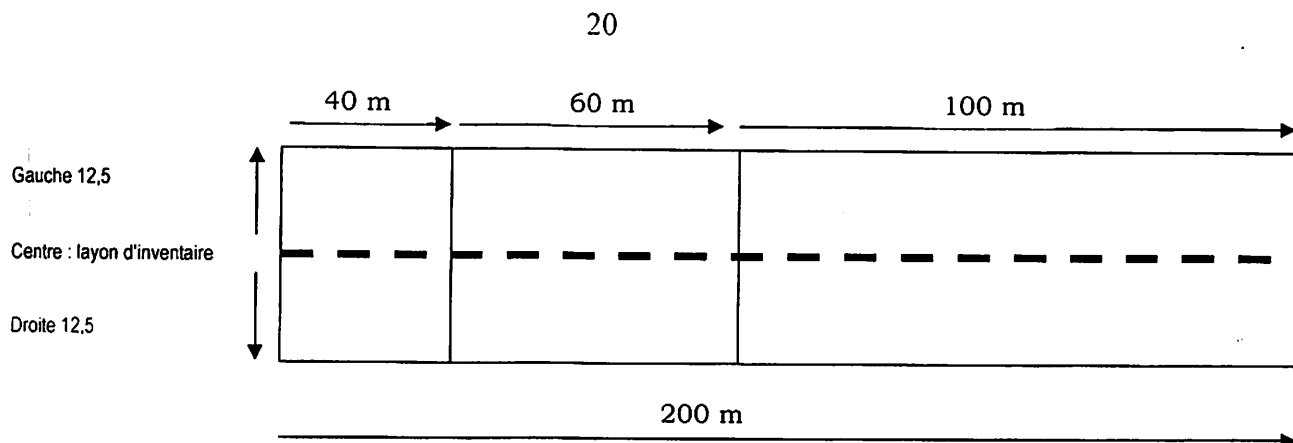


Fig. n°2 : illustre la totalité de parcelle d'inventaire dans les différentes classes de diamètre.

Légende

— — : Layon

↑ : Partie gauche de la parcelle

↓ : Partie droite de la parcelle

De 0-40 : classe de 10 cm de diamètre à plus

De 40-100 : classe de 20 cm de diamètre à plus

De 100-200 : classe de 40 cm de diamètre à plus

25 x 200 : constitue la superficie d'une parcelle

2.4. Traitement des données

Les différentes étapes du traitement sont (CTFT, 1989 ; cité par 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 des tables de cubage correspondant à l'équation retenue.

2.4.1. COMPILATION DES DONNEES BRUTES

Les données dendrométriques brutes telles que prélevées au relascope concernant les diamètres et les hauteurs, sont à ce stade transformées en données utilisables pour les calculs de volume. La transformation des unités relascopiques en unités diamétriques s'effectue par les formules ci-après :

a. Calcul de diamètre

! Pour calcul de diamètre, on a : $D = 2 u \cdot a$

Où $D = DHP$ et DFB (en cm)

u = unité relascopique

a = distance horizontale entre l'arbre et l'opérateur (en m)

b. Calcul de hauteurs

Pour les mesures de hauteurs, nous avons utilisé deux séries de relascopique :

- relascope à bande étroite ;
- ! - relascope à bande large.

b1. Relascope à bande étroite

Les hauteurs sont trouvées à partir des relations suivantes :

$$H = L_s - L_i$$

Où H = hauteur

L_s = lecture supérieure lue au relascope

L_i = lecture inférieure lue au relascope

b2. Relascope à bande large

Nous avons les hauteurs à partir des relations suivantes :

- fausse hauteur : $H' = L_s - L_i$ où H' : fausse hauteur

- Vraie hauteur : $H = \frac{H' \times L'}{L}$ où H : vraie hauteur

L' : distance quelconque de l'arbre à l'opérateur (en m)

L : échelle de l'appareil.

La Relascope à bande large comprend 3 échelles : 20 m, 25 m et 30 m.

c. Répartition par classe de grosseur

Pour la distribution en différentes classes de grosseur, on utilise la relation de STURGE (Dagnelie, 1985) en calculant :

- Le nombre 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 grosseur

X_{\min} = valeur minimale enregistrée par catégorie de grosseur

2.4.2. CALCUL DES VOLUMES INDIVIDUELS

C'est le volume fût ou volume observé sur pied. Il est trouvé par la formule smalian :

$$V = \frac{\pi}{4} \left(\frac{D_1^2 + D_2^2}{2} \right) HF$$

Où v : volume fût

D_1 et D_2 : respectivement DHP et DPB

HF : longueur du fût ou hauteur fût ou 8 hauteur fût

π : 3, 14

2.4.3. CONSTRUCTION PROPREMENT DITE DU TARIF DE CUBAGE

La construction 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 supplantées par la méthode mathématique.

La relation volume fût et DHP nous a servi de trouver aisément les équations de régression et de calculer leurs 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) :

- $Y = a + bX$: régression linéaire ;
- $Y = a + b \ln X$: régression logarithmique
- $Y = a.X^b$: régression puissance
- $Y = a.e^{bX}$: régression exponentielle
- $Y = a + b \cdot \frac{1}{X}$: régression inverse
- $Y = a + bX + cX^2$: régression quadratique

2.4.3.1. 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.

a. Méthode non statistique

Cette méthode est 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.

Le coefficient de détermination correspond au carré du coefficient de corrélation multiplié par 100, mesurant la netteté de la liaison existant entre les variables dépendantes et les variables explicatives et traduit de variation de la variable dépendante (explicative) par la régression (Rondeux, cité par Otomabongaa, 2007).

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.

Partant des volumes individuels des arbres échantillon et de leur DHP, nous avons aisément obtenu pour les six modèles d'équation proposés par :

- le coefficient de régression ;
- le coefficient de corrélation ;
- le coefficient de détermination.

En pratique, il convient de rappeler que lorsque l'ajustement est parfait, le coefficient de corrélation est égal à 1. Toutefois un coefficient de corrélation supérieur ou égal à 0,80 dénote une bonne régression.

Ensuite la régression qui donne de valeurs négatives au calcul des volumes sont à rejeter (Mabiala, 1980 ; Dagnelie, 1985 cité par Kahindo, 2006).

2.4.3.2. Analyse statistique

Pour apprécier la qualité ou de réaliser un bon ajustement des modèles d'équation retenues, quelques paramètres d'équation sont sélectionnés (Rondeux, 1998) :

❖ Ecart - type résiduel (ECTR)

$$ECTR = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (Y_o - Y_c)^2}$$

avec Y_o = volume observé (Smalian)

Y_c = volume calculé par équation de régression

n = effectif de l'échantillon

❖ Coefficient de variation résidentiel (CVR)

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

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

❖ Test chi-carré de PEARSON (χ^2)

$$\chi^2 = \frac{\sum (Y_o - Y_c)^2}{\bar{Y}_c}$$

❖ L'intervalle de confiance (IC)

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

avec SCE = somme des carrés des écarts $\sum (Y_o - Y_c)^2$

En effet, pour retenir en définitive une équation qui fera l'objet de tarif de cubage, il est recommandé de se baser sur le choix de l'équation qui présente la valeur de coefficient de détermination la plus élevée et de coefficient de variation résiduelle faible (Njoukan, 1995).

2.4.3.3. Précision de tarif de cubage

Les données de dispersion de DHP nous permettent de trouver aisément la précision de tarif de cubage. Nous nous sommes servis de la relation ci-après (Mbassa, 1996) :

$$P = 100 - E$$

$$\text{Où } E = S_m \cdot t$$

Avec E = erreur due à l'application du tarif

S_m = écart-type de l'échantillon

t = valeur tabulaire du student correspondant au degré de liberté

2.4.3.4. Calcul d'erreur – type sur le coefficient de corrélation.

Nous devons savoir qu'un tarif de cubage est construit à partir d'un échantillon d'arbres plus ou moins représentatifs des peuplements ou des milieux étudiés et qu'il fournit par conséquent des valeurs moyennes pour lesquelles il est opportun de pouvoir estimer les marges d'erreurs (Rondeux, 1999).

Après le calcul de volume du terrain, le coefficient de corrélation pour la régression retenue nous entraîne de calculer l'erreur – type de corrélation (Lanly, 1967, cité par Biguma) :

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

Avec S_r : erreur –type de corrélation

r : coefficient de corrélation

n : effectif de l'échantillon

2.4.3.5. Construction d'une table et graphique de cubage

a. Table

La construction d'une table sera effectuée à l'aide de l'équation retenue.

b. Graphique

Le graphique sera construit en fonction de volume porté sur l'ordonnée et la DHP en abscisse.

2.4.3.6. Bref Aperçu du tarif de cubage étudié

- Essence : *Brachystegia Laurenti* (de Wild) Louis
- Zone de validité : Localité de Biaro
- Définition des variables dépendantes : Volume sur pied
- Définition des variables explicatives : DHP (1,30m)
- Nombre d'arbres ou d'individus échantillon : 120
- Méthode de calcul des volumes individuels : $V = \frac{\pi}{4} \left(\frac{D_1^2 + D_2^2}{2} \right) HF$
- Méthode de construction : Mathématique
- Précision du tarif : P = 100 – E

2.4.3.7. Difficultés rencontrées

La grande difficulté rencontrée était la marche dans la forêt. La distance entre les agglomérations et les champs d'étude était extrêmement longue.

CHAPITRE TROISIEME : ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS

La présente de ces résultats se fait à partir de différents paramètres dendrométriques examinés dans la forêt dense humide à *Brachystegia laurentii* dans la localité de BIARO.

3.1. CARACTERISTIQUES DENDROMETRIQUES

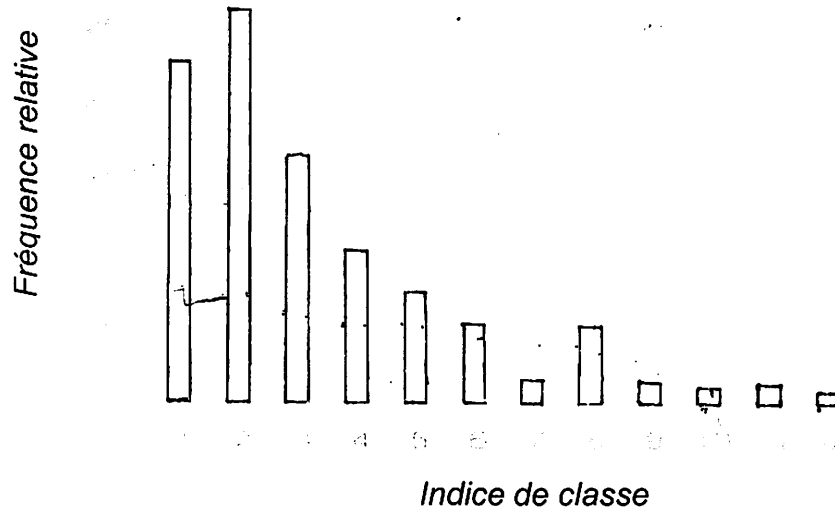
3.1.1. DENSITE

La densité est une expression désignant l'effectif par l'unité de surface. L'effectif d'individus d'un peuplement ne renseigne pas sur leur mode d'occupation et leur taille mais il donne une idée de la densité d'une communauté de la population quelconque.

Le tableau 1 nous donne la densité des tiges par hectare. Il ressort de ce tableau que le nombre d'individus inventoriés dans la forêt dense humide à *Brachystegia laurentii* s'élevé à 1049 pour 3 ha ; ce qui représente par ha 350 individus. Le nombre d'espèces inventorié est 85. Les espèces à densité la plus élevée sont décrites dans l'ordre décroissant : *Gilbertiodendron dewevrei* ont 70 tiges /ha ; *Brachystegia laurentii* ont 58 tiges /ha ; *Cola griseiflora* ont 28 tiges /ha ; *Cleistanthus mildbraedii* ont 18 tiges /ha,...et les autres espèces présentent chacune une densité inférieure à 10 tiges/ha. Ces 4 essences plus abondantes représentent environ un total de 50 % dont la première réalise 20 % ; la deuxième 16,7 % ; la troisième 8 % et la quatrième ou enfin 5,2 %.

3.1.2. Diamètre à hauteur de poitrine

La figure 3 et l'annexe II donnent la répartition des tiges par classe de DHP.



Légende de l'indice de classe (diamètre en centimètre)

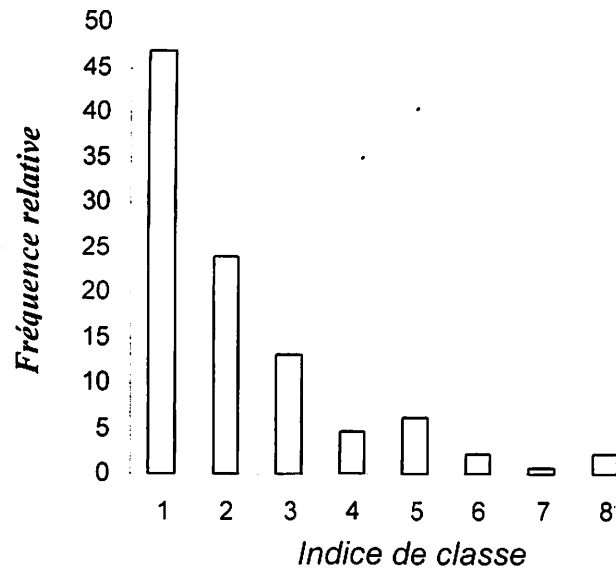
1 : 15	4 : 45	7 : 75	10 : 105
2 : 25	5 : 55	8 : 85	11 : 115
3 : 35	6 : 65	9 : 95	12 : 125

Fig. 3 : Distribution des tiges par classe de DHP.

Généralement la forêt naturelle présente une régénération sous forme i ou j renversé. Dans la figure ci-haut, nous remarquons par contre une réduction dans la 1^{ère} classe par rapport à la 2^{ème} classe.

3.1.3. Diamètre au fin bout

La figure 4 et l'annexe III donnent la répartition des tiges par classe de DFB.



Légende de l'indice de classe (diamètre en centimètre)

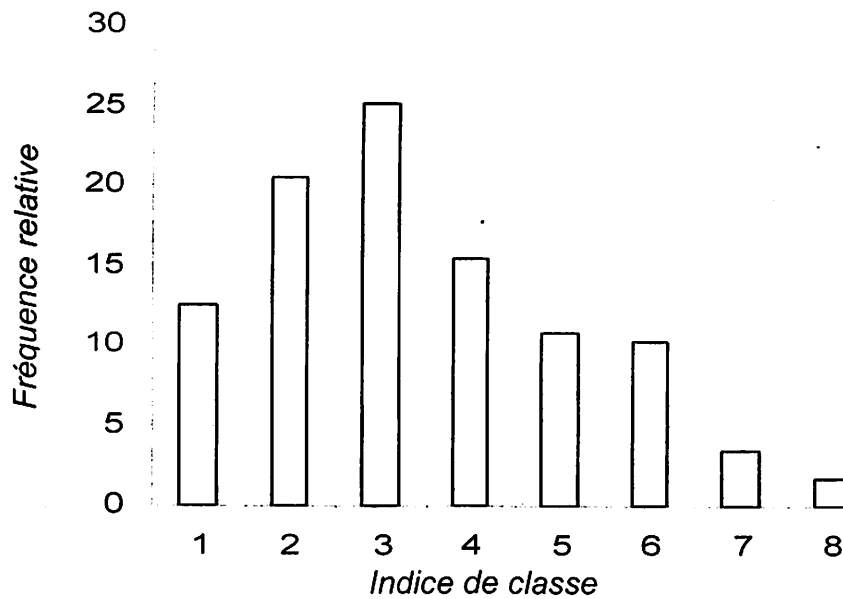
1 : 10	5 : 58
2 : 22	6 : 70
3 : 34	7 : 82
4 : 46	8 : 94

Fig. 4 : Distribution des types par classe de DFB

Ce graphique nous montre que la couche de distribution se présente sous forme de structure en exponentielle (une forme naturelle). Il commet une variation à la classe d'indice 58 et la dernière classe d'indice 94.

3.1.4. Hauteur fût

La figure 5 et l'annexe IV donnent la répartition de tiges classe d'HF.



Légende de l'indice de classe (hauteur en mètre)

1 : 4,5	5 : 16,5
2 : 7,5	6 : 19,5
3 : 10,5	7 : 22,5
4 : 13,5	8 : 25,5

Fig. 5 : Distribution des tiges par classe d'HF.

Ce graphique nous montre que la courbe de distribution se présente sous forme de structure en cloche. Il atteint son maximum à la classe d'indice 10,5 puis décroît jusqu'à la dernière classe d'indice 25,5.

3.2. ELABORATION D'UN TARIF DE CUBAGE

Notre échantillon de départ a été ramené à 120 pieds, les quels fait l'objet de tarif de cubage dans ce travail.

3.2.1. PRESENTATION DE MODELE DES EQUATIONS DE REGRESSION

La relation de DHP avec le volume Fût nous a permis de trouver aisément les coefficients de régression, de corrélation et de détermination de six équations proposées.

Tableau V : Caractéristiques des équations de régression

Equation Elément	a	b	c	r	R
Linéaire	- 9,17	27,07	-	0,89627	80,33
Logarithmique	16,32	12,65	-	0,7733	59,80
Puissance	15,22	2,78	-	0,9850	97,03
Exponentielle	0,11	4,96	-	0,9531	90,03
Inverse	16,99	- 3,46	-	0,5829	33,98
Quadratique	2,75	- 18,44	32,63	0,9548	91,18

3.2.2. CHOIX DU MODELE DE REGRESSION

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

Tableau VI : Equation de tarif de cubage de 6 différents modèles

Equation (forme générale)	r	R	Volume (m ³)
Linéaire (y = - 9,17+27,07DHP)	0,89627	80,33	819,71
Logarithme (y = 16,32+12,65 ln DHP)	0,7733	59,80	814,67
Puissance (y = 15,22 DHP ^{2,78})	0,9850	97,03	809,58
Exponentielle (y = 0,11e ^{4,96 DHP})	0,9531	90,84	959,55
Inverse (y = 16,99 -3,46 1/DHP)	0,5829	33,98	1142,24
Quadratique (y = 2,75 -18,44DHP + 32,63DHP ²)	0,9548	91,18	824,51
Volume observé (y _o)	-	-	823,87

Il convient de rappeler que l'ajustement est parfait lorsque le coefficient de corrélation est égal à 1. Toutefois, un coefficient de détermination d'une valeur $\geq 80\%$ témoigne une bonne régression. Ensuite, étant donné que les volumes

d'arbres sont des valeurs positives, celles qui font ressortir des valeurs négatives sont à rejeter (Mabiala et al., 1981).

Ce critère nous a permis de retenir les équations suivantes :

- puissance : $y = 15,22DHP^{2,78}$ avec $R = 97,03$;
- exponentielle : $y = 0,11e^{4,96DHP}$ avec $R = 90,84$.

3.2.3. TEST D'AJUSTEMENT DE KHI CARRE DE PEARSON

A partir de la transformation en annexe IX, on obtient les valeurs numériques pour faire le test de khi carré et le résultat de ce test est présenté dans le tableau VIII.

Tableau VII : Appréciation de la qualité d'ajustement par le test de χ^2

Equations	Paramètres
Puissance ($y = 15,22DHP^{2,78}$)	Khi carré tabulaire = 70,06
	Khi carré calculé = 23,1
Exponentielle ($y = 0,11 e^{4,96 DHP}$)	Khi carré tabulaire = 70,06
	Khi carré calcule = 124,37

a) Régression puissance

La valeur de khi carré calculé est supérieure à celle trouvée à la table au seuil de 0,99. 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) Régression exponentielle

La valeur de Khi carré est supérieure à celle trouvée à la table au seuil de 0,99. Par conséquent, la différence entre le volume observé et le volume calculé est significative. Alors l'équation n'est pas acceptable.

3.2.4. ECART-TYPE RESIDUEL, COEFFICIENT DE VARIATION RESIDUELLE ET INTERVALLE DE CONFIANCE

Pour apprécier la qualité des équations testées, nous avons fait recours au calcul de l'écart-type résiduel, le coefficient de variation résiduelle. Ces paramètres sont présentés dans le tableau IX.

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

Equations	Paramètre
Puissance ($y = 15,22DHP^{2,78}$)	ECTR = 1,47 m ³
	CVR = 0,21 %
	IC = 6,75 ± 0,27
Exponentielle ($y = 0,11e^{4,96DHP}$)	ECTR = 4,72 m ³
	CVR = 0,59 %
	IC = 7,99 ± 0,86

De ce tableau ci-haut, les résultats montrent que l'équation exponentielle donne grand écart avec le volume calculé de 4,72m³ avec son coefficient de variation résiduelle de 0,59% contrairement à l'équation puissance qui dégage un écart type résiduel de 1,47m³ avec son coefficient de variation résiduelle de 0,21%.

Sur base de ce critère, nous avons choisi le modèle puissance (CVR = 0,21 % et R = 97,03 %) pour le calcul des tables ou barèmes de cubage.

3.2.5. PRECISION DU TARIF DE CUBAGE

Les données de dispersion de DHP nous permettent de trouver aisément la précision de tarif de cubage. Nous nous sommes servis de la relation ci-après :

$$P = 100 - E$$

$$\text{Où } E = S_m \cdot t$$

$$E = 24,24 \times 1,658 = 40,19$$

$$P = 100 - 40,19 = 59,81 \%$$

3.2.6. CALCUL D'ERREUR-TYPE SUR COEFFICIENT DE CORRELATION

Après le calcul de volume du terrain, le coefficient de corrélation ($r=0,98850$) pour la régression puissance nous entraîne de calculer l'erreur type de corrélation.

$$sr = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}} \text{ d'où } sr = \sqrt{\frac{1-(0,98850)^2}{120-2}} = 0,0158$$

3.3. CONSTRUCTION DU TARIF CUBAGE LOCAL

3.3.1. EQUATION DE REGRESSION

Le tableau IX présente successivement par le tarif de cubage la forme expliquée de la relation entre le volume observé sur écorce et les variables explicatives ainsi que le R et le CVR.

Tableau IX : Forme de l'équation de régression retenue

TARIF	R	ECTR	CVR
$Y=15,22DHP^{2,78}$	97,03%	1,47m ³	0,21%

C'est le tarif de cubage à une entrée.

3.3.2. BAREME DE CUBAGE

Le tableau X nous présente les tables ou barèmes de cubage correspondant à l'équation retenue.

Tableau X : Barème de cubage correspondant à l'équation retenue.

Essence : <i>Brachystegia laurentii</i>										
Territoire d'application : Biaro										
Equation : $y = 15,22DHP^{2,78}$										
DHP (m)	Volume brut (m ³) avec écorce									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,0252	0,0329	0,0419	0,0523	0,0643	0,0779	0,09323	0,1104	0,1294	0,1504
20	0,1734	0,1989	0,2261	0,2558	0,2880	0,3226	0,3597	0,3995	0,4420	0,4873
30	0,5355	0,5866	0,6408	0,6980	0,7584	0,8220	0,8890	0,9594	1,0332	1,1106
40	1,1916	1,2763	1,3647	1,4569	1,5531	1,6532	1,7574	1,8657	1,9781	2,0948
50	2,2159	2,3413	2,4711	2,605	2,7445	2,8881	3,0365	3,1896	3,3476	3,5106
60	3,6785	3,8515	4,0296	4,2129	4,4014	4,5952	4,7945	4,9992	5,2094	5,4251
70	5,6466	5,8737	6,1065	6,3453	6,5899	6,8404	7,0970	7,3596	7,6284	7,9034
80	8,1847	8,4723	8,7663	9,0667	9,3737	9,6872	10,0073	10,3342	10,6678	11,0082
90	11,3555	11,7098	12,0710	12,4393	12,8147	13,1973	13,5871	13,9842	14,3887	14,8006
100	15,22	15,6468	16,0813	16,5235	16,9733	17,4309	17,8963	18,3696	18,8509	19,3401
110	16,8374	20,3428	20,8564	21,3782	21,9083	22,4468	22,9936	23,5489	24,1127	24,6851
120	25,2661	25,8558	26,4542	27,0614	27,6775	28,3024	28,9364	29,5793	30,2314	30,8925

3.3.3. GRAPHIQUE DE VOLUME

La courbe ci – dessous présente la corrélation entre DHP et volume de *Brachystegia laurentii* pour le modèle d'équation retenue.

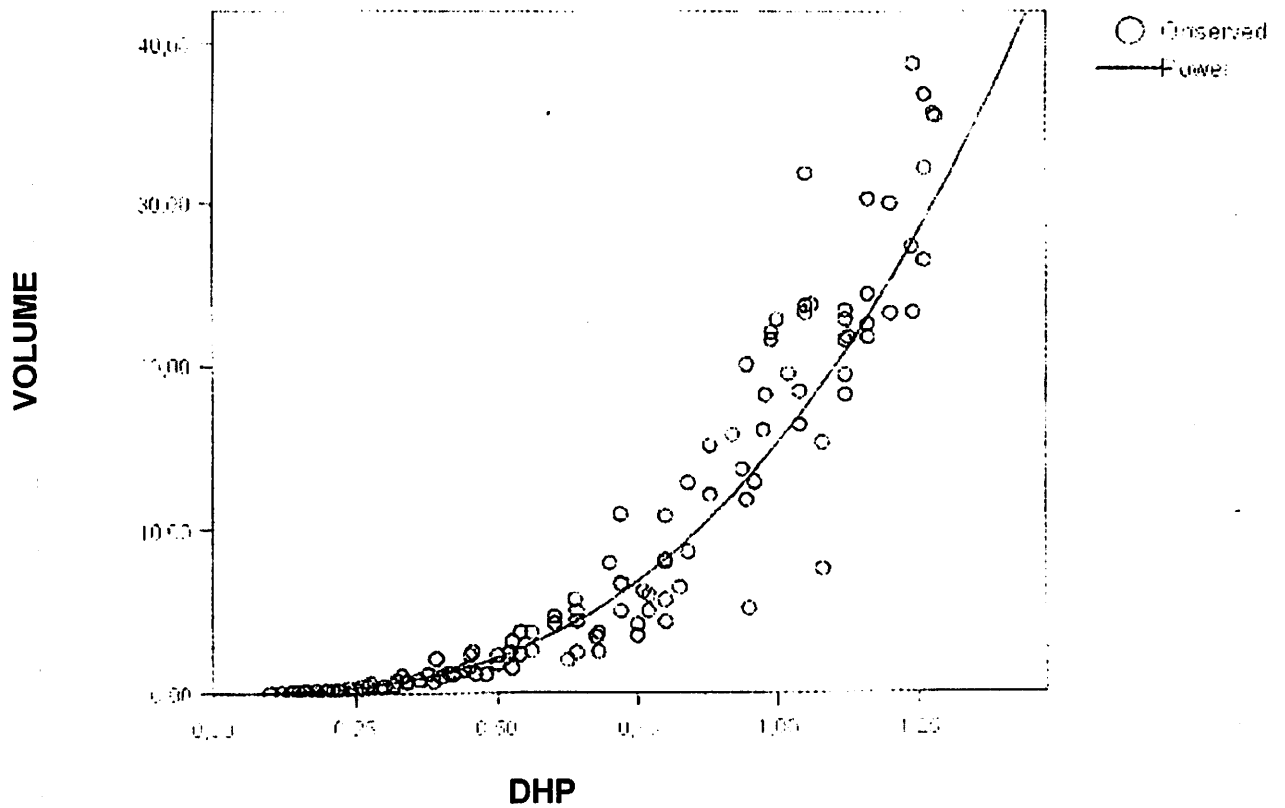


Fig.6 : Modèle d'équation de régression retenue (puissance).

Chapitre quatrième : DISCUSSION

Dans ce chapitre, nous discutons nos résultats par rapport aux résultats des travaux antérieurs de tarif de cubage. Il s'agira de comparer la densité en ha, le diamètre à hauteur de poitrine, les tarifs et les barèmes.

Il est à signaler que ces manières de comparaison sont complexes en raison de différentes méthodes de récolte des données, particulièrement en ce qui concerne la taille et la conception de l'échantillonnage.

4.1. DENSITE DE FORET

Le tableau XI compare la densité de forêt dense humide de Biaro avec ceux de Yoko, des forêts mixtes (des Masako , Yoko,Lope,Doussala), forêt à *Gilbertiodendrom dewevrei* et forêt à *Scorodophloeus zenkeri*.

Tableau XI : Comparaison de la densité de la forêt de Biaro avec ceux des autres forêts

Types de forêts	Localisation	N ^{bre} d'individus (à DHP ≥ 10 cm) par ha	Références	PAYS
Forêt dense humide à <i>Brachystegia laurentii</i>	BIARO	350	Présent travail	RDC
Forêt à <i>Brachystegia laurentii</i>	YOKO	219	UMUNAY, 2004	
Forêt mixte	MASAKO	264	MABAY, 1994	
Forêt mixte	YOKO	410	MBAYU, 2006	
Forêt à <i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	MASAKO	402	MAKANA ,1986	
Forêt à <i>scorodophloeus zenkeri</i>	LOWEO	387	ASSUMANI ,2006	
Forêt mixte	LOPE	392	REITSMA ,1988	GABON
Forêt mixte	DOUSSALA	435	REITSMA,1988	

De ce tableau, la forêt dense humide du présent travail présente une densité supérieure à ceux de UMUNAY et MABAY tandis les autres ont des densités supérieures.

4.2. STRUCTURE DIAMETRIQUE

Le tableau XII et la figure 7 comparent la structure de diamètre de *Brachystegia Laurentii*, *Staudtia Kamerunensis* et de *Funtumia Africana*

Tableau XII : Comparaison de la structure diamétrique de *Brachystegia laurentii* avec celles des autres essences.

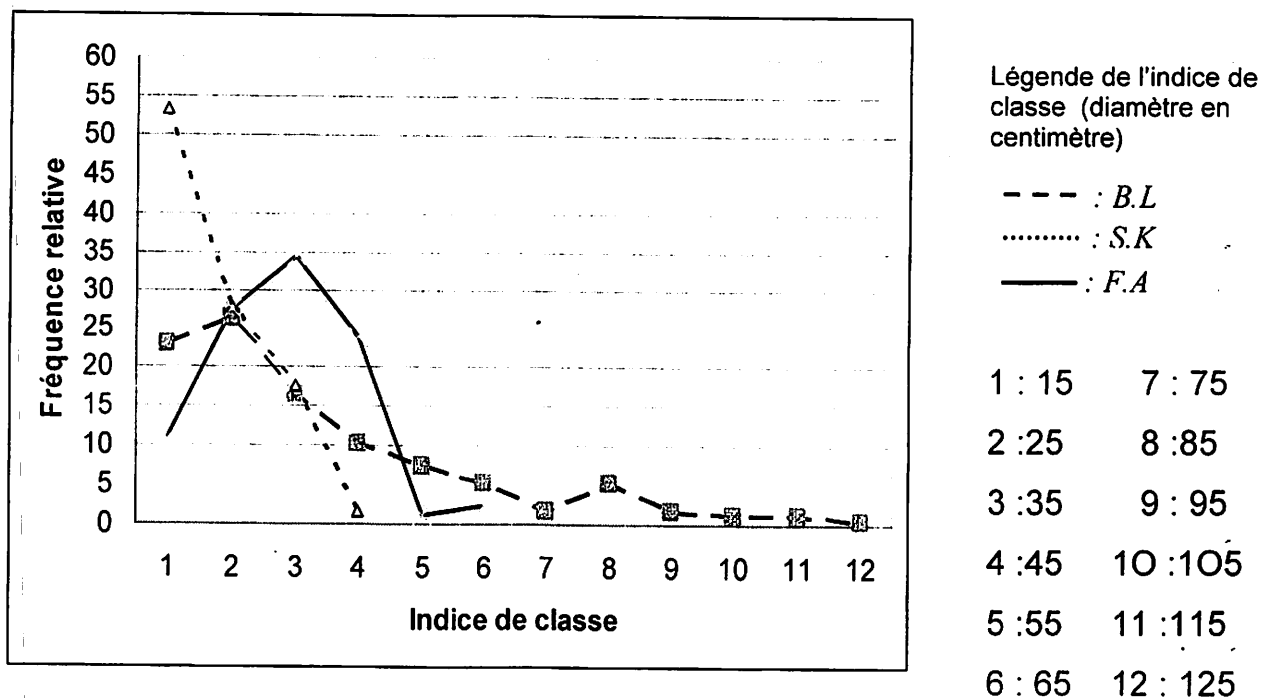
CLASSE	IC	Freq. observée			Freq. Cumulée			Freq. Relative		
		B.L	S.K	F.A	B.L	S.K	F.A	B.L	S.K	F.A
10-20	15	40	33	9	40	33	9	22,86	53,23	10,71
20-30	25	46	17	23	86	50	32	26,28	27,71	27,38
30-40	35	29	11	29	115	61	61	16,57	17,74	34,52
40-50	45	18	1	20	137	62	81	10,28	1,61	23,81
50-60	55	13		1	146		82	7,43		1,13
60-70	65	9		2	155		84	5,14		2,38
70-80	75	3			158			1,71		
80-90	85	9			167			5,14		
90-100	95	3			170			1,71		
100-110	105	2			172			1,14		
110-120	115	2			174			1,14		
120-130	125	1			175			0,57		
TOTAL		175	62	84				99,97	99,99	99,99

Légende :

BL : *Brachystegia laurentii* (present travail)

SK : *Staudtia Kamerunensis* (Biguma, 2006)

FA : *Funtumia Africana* (Kahindo, 2006)



L'analyse de la figure VIII montre que les courbes des structures de diamètre de *Brachystegia laurentii* (présent travail) et *Funtumia africana* se présentent sous forme de courbe en forme de cloche tandis que celle de *Staudtia kamerunensis* donne la forme de i.

4.3. COMPARAISON DE TARIF DU PRESENT TRAVAIL AVEC CEUX DES AUTRES PROVINCES (FRM)

Le tableau XIII compare le tarif de forêt de Biaro avec ceux des provinces de Bandundu, de l'Equateur et de la Province Orientale pour l'essence *Brachystegia laurentii*.

Tableau XIII : comparaisons de tarif du présent travail avec ceux des autres provinces

Province		Equations
Présent travail		$Y = 15,22 \text{ DHP}^{2,78}$
FRM	Orientale	$Y = 0,0004658 \text{ DHP}^{2,13}$
	Equateur	$Y = 0,0006594 \text{ DHP}^{2,01}$
	Bandundu	$Y = 0,00016457 \text{ DHP}^{2,29}$

Le tarif de cubage du présent travail et ceux de FRM ont retenu le même modèle d'équation mais il est à noter que le DHP du présent travail est exprimé en mètre tandis que ceux de la FRM sont en centimètre.

4.4. COMPARAISONS DE BAREME DU PRESENT TRAVAIL AVEC CEUX DES AUTRES PROVINCES

Tableau XIII compare le Barème de cubage de forêt de Biaro avec ceux des Provinces de Bandundu, de l'Equateur et de la Province Orientale pour l'essence *Brachystegia laurentii* du présent travail.

Tableau XIV : Comparaison de Barème de présent travail avec ceux des autres Provinces

PROVINCES	DHP (cm)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Présent travail	10	0,0252	0,0329	0,0419	0,0523	0,0643	0,0779	0,0932	0,1104	0,1294	0,1504
Orientale		0,0628	0,0769	0,0926	0,1098	0,1286	0,1490	0,1709	0,1945	0,2197	0,2465
Equateur		0,0620	0,0620	0,0894	0,1050	0,1219	0,1400	0,1594	0,1801	0,2020	0,2252
Bandundu		0,0320	0,0320	0,0487	0,0585	0,0693	0,0812	0,0941	0,1081	0,1232	0,1995
Présent travail	20	0,1734	0,1734	0,2261	0,2558	0,2880	0,3226	0,3597	0,3995	0,4420	0,4873
Orientale		0,2750	0,2750	0,3369	0,3704	0,4055	0,4423	0,4809	0,5211	0,5031	0,6068
Equateur		0,2497	0,2497	0,3024	0,3307	0,3602	0,3911	0,4231	0,4565	0,4911	0,5270
Bandundu		0,1569	0,1569	0,1952	0,2161	0,2382	0,2615	0,2861	0,3120	0,3391	0,3674
Présent travail	30	0,5355	0,5355	0,6408	0,6980	0,7584	0,8220	0,8890	0,9594	1,0332	1,1106
Orientale		0,6523	0,6523	0,7484	0,7991	0,8516	0,9058	0,9618	1,0106	1,0792	1,1406
Equateur		0,5642	0,5642	0,6423	0,6833	0,7256	0,7691	0,8139	0,8650	0,9073	0,9560
Bandundu		0,3971	0,3971	0,4604	0,4940	0,5289	0,5652	0,6029	0,6419	0,6824	0,7242
Présent travail	40	1,1916	1,1916	1,3647	1,4569	1,5531	1,6532	1,4574	1,8657	1,9781	2,0948
Orientale		1,2038	1,2038	1,3357	1,4043	1,4748	1,5471	1,6213	1,6973	1,2751	1,8548
Equateur		1,0059	1,0059	1,1095	1,1633	1,2183	1,2746	1,3322	1,2910	1,4511	1,5125
Bandundu		0,7674	0,7674	0,8582	0,957	0,9546	1,0050	1,0862	1,1103	1,1051	1,221

Présent travail	50	2,2159	2,3413	2,4711	2,6055	2,7445	2,8881	3,0365	3,1896	3,3476	3,5106
Orientale		1,9364	2,0198	2,1051	2,1923	2,2813	2,3723	2,4651	2,5598	2,6564	2,7549
Equateur		1,5752	1,6392	1,7044	1,7710	1,8388	1,9079	1,9782	2,0499	2,1428	2,1970
Bandundu		1,2793	1,3387	1,3995	1,4619	1,5259	1,5914	1,6584	1,7270	1,7972	1,8689
Présent travail	60	3,6785	3,8515	4,0296	4,2129	4,4014	4,5952	4,7945	4,9992	5,2094	5,4225
Orientale		2,8553	2,9576	3,0619	3,1680	3,2761	3,3861	3,4980	3,6119	3,7257	3,8454
Equateur		2,2725	2,3493	2,4273	2,5067	3,5873	2,6692	2,7524	2,8368	2,9226	3,0096
Bandundu		1,9423	2,0172	2,0937	2,1719	2,2516	2,3330	2,4160	2,5007	2,5869	2,6749
Présente travail	70	5,6466	5,8737	6,1065	6,3453	6,5899	6,8404	7,0970	7,3596	7,6284	7,9034
Orientale		3,9651	4,0867	4,2103	4,3358	4,4633	4,5428	4,7242	9,8576	4,9929	5,1303
Equateur		3,0979	3,1875	3,2784	3,3706	3,4640	3,5587	3,6548	3,7521	3,8507	3,9505
Bandundu		2,7645	2,8558	2,9487	3,0434	3,1396	3,2377	3,4374	3,4388	3,5419	3,6468
Présent travail	80	2,1847	8,4723	8,7663	9,0667	9,3737	9,6872	10,0073	10,3342	1,6678	11,0082
Orientale		5,2696	5,4109	5,5542	5,6994	5,8467	5,9960	6,1472	6,3005	6,4557	6,6130
Equateur		4,0517	4,1541	4,2579	4,3629	4,4692	4,5767	4,6856	4,7956	4,9072	5,0199
Bandundu		3,7534	3,8617	3,9717	4,0835	4,1971	4,3124	4,4294	4,5483	4,6689	4,7913

Présent travail	90	11,3555	11,7098	12,0710	12,4399	12,8147	13,1973	13,5871	13,9842	14,3887	14,8006
Orientale		6,7722	6,9335	7,0968	7,2621	7,4295	7,7989	3,7702	7,9437	8,1991	
Equateur		5,1340	5,2493	5,3659	5,4837	5,6029	5,7233	5,8451	5,9581	6,0924	6,2180
Bandundu		4,9154	5,0414	5,1692	5,2987	5,431	5,5633	5,6983	5,8352	5,9739	6,1144
Présent travail	100	15,22	15,6468	16,0813	16,5235	16,9733	17,409	17,8963	18,3696	18,8509	12,3401
Orientale		8,4761	8,6977	8,8413	9,0269	9,2146	9,4044	9,5962	9,7900	9,9860	10,1839
Equateur		6,3449	6,4731	6,6026	6,7333	6,8654	6,9987	3,1333	7,2692	7,4064	7,5449
Bandundu		6,2567	6,4009	6,5470	6,6949	6,8447	6,9963	7,1499	7,3053	7,4626	7,6217
Présent travail	110	19,8374	20,3428	20,8564	21,3782	21,983	22,4468	22,9936	23,5489	24,1127	24,6851
Orientale		10,3840	10,5861	10,793	10,9965	11,2048	11,4152	11,6277	11,8422	12,0589	12,2776
Equateur		7,6847	7,8258	7,9681	8,1118	8,2567	8,4029	8,5504	8,6952	8,8493	9,0007
Bandundu		7,7828	7,9458	8,1107	8,2775	8,4462	8,6168	8,7894	8,9638	9,1403	9,3186
Présent travail	120	25,2661	25,8558	26,4542	27,0614	27,6775	28,3024	28,9364	29,5793	30,2314	30,8925
Orientale		12,4984	12,7213	12,9463	18,1733	13,4025	13,6338	13,8671	14,1026	14,3402	14,5799
Equateur		9,1534	9,3073	9,4626	9,6191	9,7770	9,9361	10,0965	10,2582	10,4212	10,5855
Bandundu		9,4989	9,6811	9,8653	10,0515	10,2396	10,4297	10,6218	10,8158	11,0118	11,2098

CONCLUSION ET RECOMMANDATION

A. CONCLUSION

Notre travail avait pour but l'élaboration d'un tarif de cubage à une entrée de *Brachystegia laurentii* dans la forêt dense humide Biaro.

Pour y parvenir, un dispositif expérimental de 3 ha a été délimité dans la forêt dense humide de Biaro. Un inventaire systématique de la strate arborescente de DHP \geq à 10cm a été réalisé, il s'en est dégagé 120 pieds de *Brachystegia laurentii* lesquels ont constitué notre échantillon. Les mesures effectuées sur les arbres (DHP, DFB et HF) sont prises à l'aide de deux relascopes de bitterlich : à bandes larges et à bandes étroites.

Plusieurs modèles d'équations de régression à savoir : linéaire, logarithmique, puissance, exponentielle, inverse et quadratique ont été testés par la relation DHP et volume.

Les résultats obtenus après analyse de 6 équations de régression et tests statistiques retiennent le modèle puissance comme modèle exprimant mieux la relation entre volume et diamètre à hauteur de poitrine : $Y=15,22 \text{ DHP}^{2,78}$ ($r=0,97$).

Notre première hypothèse est confirmée tandis que la deuxième est infirmée.

Ce tarif de cubage de la forêt dense humide de Biaro est un tarif local, il est applicable uniquement pour les diamètres allant de 10 à 120cm de DHP.

B. RECOMMANDATION

Le présent travail n'est qu'une contribution ; il nécessite alors des améliorations. A cet effet, nous recommandons que d'autres études soient faites avec le même échantillonnage sur *Brachystegia laurentii* dans d'autres sites de la Province Orientale.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. ASSUMANI, A., 2006 : Contribution à l'étude structurale de la forêt à *Scorodophloeus zenkeri* dans la réserve forestière de Loweo. Mémoire inédit, FSA/UNIKIS. 72.p.
2. BIGUMA, S., 2006 : Contribution à l'élaboration d'un tarif de cubage de *Staudtia Kamerunensis* (S.stipitata), dans la réserve forestière de Loweo. Mémoire inédit, FSA/UNIKIS.
3. BOYEMBA, B., 2006 : Diversité et régénération des essences forestières exploitées dans les forêts des environs de Kisangani (RDC). Mémoire D.E.A.LABO. Bot. Syst. et Phyt., ULB, 1, 12, 81, 91, 100 p.
4. BWANGOY, B., 2005 : Normes d'aménagement forestier. Stratification forestière du territoire, SPIAF, RDC, 4p.
5. C.T.F.T., 1989 : Mémento de forestier 3^{ème} éd. Ministère de coopération 1266p.
6. CAILLEZ, F., 1980 : Estimation des volumes et accroissement des peuplements forestiers avec référence particulière aux forêts tropicales. Vol I, estimation de volume, FAO. 1 - 20p.
7. CHAUVET, B., 1968 : Tarif de cubage d'estimation du volume sur pied de peuplement de pin " In terre malgache ", Librairie Hachette Tananarive. 174 p.
8. CHEVREAU, B., 1967 : Tarif de cubage dans la foresterie moderne « une revue forestière française » n°1, 72p.
9. COPIN, 1963 : Utilisation de la régression dans la précision et l'exactitude en analyse quantitative. Anal de la faculté universitaire de Gembloux, 75^e année, n°2. 75p.
10. DAGNELIE, P. et al, 1985 : Tables de cubage des arbres et des peuplements forestiers. Presses agronomiques de Gembloux, Belgique, 378p.
11. DAGNELIE, P. et al, 1988 : Tables de cubage des arbres et peuplements forestiers. Presses agron. De Gembloux, 13p.
12. DEBROUX, L. et al, 2007 : La forêt en république démocratique du Congo post-conflit : analyse d'un agenda prioritaire. Rapport collectif par de équipe de la banque mondiale .82. p.

13. FAO, 2001 : Gestion durable de forêts tropicales en Afrique Centrale. AQUASTAT.
14. FONTAINE, R.G., 1981 : Manuel d'inventaire Forestier, avec références particulières aux forêts tropicales hétérogène 92,104 p.
15. FRM, 2006 : Formation des forestiers aménagistes et des gestionnaires. Module 1, notion introductive.47p.
16. GAUTHIER et al, 1977 : Manuel dendrologique. Inventaire forestier d'une partie de la cuvette centrale, région de l'équateur-Rep. du Zaïre. Québec, 380p.
16. 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, Fac.des Sc. Agron./UNIKIS.6 -7p.
17. KAMABU, V. et Lejoly, J., 1994 : Productivité et minéralomasse dans un système agroforestier à Kisangani (Zaïre). Coll ; Rech./Dev. Tenue à l'université libre de Bruxelles, le 23-24 mai 1990. Annales, Fac. des Sc., n° Spéc. :57-60 p.
18. KAMBALE, M., 2006 : Contribution à l'élaboration d'un tarif de cubage de *Gilletiodendron Kisantuense* (Vermoesen ex De Wild) J. Léonard dans la réserve forestière de Yoko (Bloc Nord) Ubundu, Province Orientale, RDC. Mémoire inédit, Fac des Sc. Agron./ UNIKIS.36 p.
19. LANLY, 1967 : Inventaire forestier en République Centrafricaine. Bois et forêt des tropiques, n°105. Norget sur Marne, France. pp 34-35.
20. LOKOMBE, D., 2004 : Caractéristiques dendrométriques et stratégie d'aménagement de la forêt dense humide à *Gilbertiodendron dewevrei* en région de Bengamisa. DES/IFA –Yangambi, Inédit.
21. MABAY, K.J, 1994 : Contribution à l'étude des forêts secondaires et primaires de la réserve forestière de Masako (Haut – Zaïre). Mémoire inédit, FS/UNIKIS.65 p.

22. MABIALA et al, 1981 : Normes d'inventaire forestier. Tarif de cubage. n° 4 SPIAF, Kinshasa.
23. MAKANA J.R, 1986 : Contribution à l'étude floristique et écologique de forêt à *Gilbertiodendron dewevrei* de Masako (Kisangani). Mémoire inédit, FS/ UNIKIS.65p.
24. MANGABU, 2002 : Etude de peuplement de sous bois dans la partie Nord de la réserve de Yoko, Ubundu. Mémoire inédit, FS/ UNIKIS.56p.
25. MASANGU, S., 2004 : Contribution à l'étude plastique des lianes et herbes grimpantes de la réserve de Yoko,(Bloc nord ,Ubundu, Province Orientale). Mémoire inédit, FS/ UNIKIS.
26. MASUDI, 1982 : Préliminaire de recollement en exploitation et transformation du Zaïre. Mémoire inédit, Fac. de foresterie et géodésie de l'université Lavale.50p.
27. MATE, M., 2001 : Croissance, phytomasse et mineralomasse des haies des légumineuses améliorante en culture en allés à Kisangani (RDC).Thèse de doctorat inédite, FS / UNIKIS.65 p.
28. MBASSA, G., 1996 : Forme moyenne et tarif cubage des grumes de *Pericopsis elata* (Harms) Van Meeuwen et de *Chlorophora excelsa* Beach et Hookf. Sous exploitation à Azonu. Chantier d'exploitation forestière Amex Bois. TFC, inédit, ISEA/Bengamisa.26p.
29. MBAYU, M.F., 2006 : Etude dendrométrique de la forêt mixte de la réserve forestière de Yoko. Mémoire inédit, FSA/UNIKIS.49p..
30. MULLENDERS, 1954 : Rapport annuel de l'INEAC (1955). Etude de quelques bois congolais. Publication de l'INEAC, série technique. n° 59, 74-83p.
31. NANSON, A. et GENNART, M., 1975 : Contribution à l'étude du climat en particulier du pedoclimat en foret équatoriale Congolaise. Bull. Inst. Agro. Stat. Rech. Gembloux,28(3),287 -342p. -

32. NJOUKAM, R., 1995 : Contribution à l'étude des interactions « essences forestière à croissance rapide et sol de savane tropicale » : Cas de la réserve forestière de Melap (Fumbam) au Cameroun. Thèse de doctorat FUSA/ Gembloux, Belgique, 77-101p.
33. OTOMABONGAA, 2007 : Contribution a l'élaboration d'un tarif de cubage de *Petersianthus macrocapus* (P. Beau) Liben, 1968 dans la réserve forestière de Masako (Kisangani; RDC). TFC inédit, ISEA/Bengamisa.
34. REITSMA, 1988 : Végétation forestière du Gabon. Technical séries. Tropendos. 53 p.
35. RONDEUX, J., 1999 : Mesure des arbres et des peuplements forestiers. 2^{eme} éd. 521p.
36. TAILFER, Y., 1989 : La forêt dense d'Afrique Centrale. Approche bot .et syst. Identification pratique des principaux arbres. Tom II.713p.
37. TEREA , 2006 : Formation de forestier aménagiste et de gestionnaire forestier (module 5 : Inventaire d'aménagement). 7-32p.
38. UMUNAY M., 2004 : Contribution à l'étude floristique de la forêt à *Brachystegia laurentii* (Dewild), Louis de la foret de Yoko (Bloc- Nord , Ubundu, RDC). Mémoire inédit, FS/UNIKIS. 55p.

ANNEXES

Annexe I : Nombre de tiges par essence, par hectare et par classe de DHP

N°	ESPECES	FAMILLE	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	Tot 3 ha	Tot en ha
			à 20	à 30	à 40	à 50	à 60	à 70	à 80	à 90	à 100	à 110	à 120	à 130	à 140		
001	<i>Allanblackia floribunda</i>	Clusiaceae	1													1	0,33
002	<i>Anonidium mannii</i>	Annonaceae	3	1	1	1			2							8	2,67
003	<i>Anthonotha fragans</i>	Caesalpiniaceae	1		4	2		2								9	3,00
004	<i>Anthonotha macrophylla</i>	Caesalpiniaceae	1													1	0,33
005	<i>Aphanocalyx cynometroides</i>	Caesalpiniaceae	12	5	4	2										23	7,67
006	<i>Aptandra zenkeri</i>	Apocynaceae	1					1								2	0,67
007	<i>Anthonotha macrophylla</i>	Caesalpiniaceae		2												2	0,67
008	<i>Austranella congollensis</i>	Sapotaceae		1												1	0,33
009	<i>Anopyxis ealensis</i>	Rhizophoraceae				1										1	0,33
010	<i>Baikiaea insignis</i>	Caesalpiniaceae	6	6	2											14	4,67
011	<i>Beilschmiedia euryneura</i>	Lauraceae	1													1	0,33
012	<i>Blighia unijugata</i>	Sapindaceae			1											1	0,33
013	<i>Blighia welwitschii</i>	Sapindaceae	1					1								2	0,67
014	<i>Bombax buonopozense</i>	Bombacaceae					1									1	0,33
015	<i>Brachystegia laurentii</i>	Caesalpiniaceae	40	46	29	18	13	9	3	9	3	2	2	1		175	58,33
016	<i>Canthium dewevrei</i>	Rubiaceae	7	2												9	3,00
017	<i>Celtis tessmanii</i>	Ulmaceae			1											1	0,33
018	<i>Cleistanthus mildbraedii</i>	Euphorbiaceae	27	15	7	3	2			1						55	18,33

019	<i>Coelocaryon preussii</i>	Myristicaceae	1	1												2	0,67
020	<i>Cola griseiflora</i>	Sterculiaceae	49	20	10	5										84	28,00
021	<i>Copaifera midbraedii</i>	Caesalpiniaceae	1	1	1	2		2								7	2,33
022	<i>Dacryodes yangambiensis</i>	Bruseraceae		1												1	0,33
023	<i>Dialium corbisieri</i>	Caesalpiniaceae	13	3	6	4	2									28	9,33
024	<i>Dialim pachyphyllum</i>	Caesalpiniaceae	2	1	1											4	1,33
025	<i>Dialium pentandrum</i>	Caesalpiniaceae				1										1	0,33
026	<i>Diogoa zenkeri</i>	Olacaceae	5	3	3	1										12	4,00
027	<i>Diospyros chrysocarpa</i>	Ebenaceae	9	4												13	4,33
028	<i>Diospyros hoyleana</i>	Ebenaceae	1	2												3	1,00
029	<i>Diospyros liaala</i>	Ebenaceae	1							1						2	0,67
030	<i>Diospyros melocarpa</i>	Ebenaceae	4	6	3	1		1								15	5,00
031	<i>Diospyros spp</i>	Ebenaceae	6	2	2											1	3,33
032	<i>Donella pruniformis</i>	Sapotaceae		1												1	0,33
033	<i>Drypetes gossweileri</i>	Euphorbiaceae	2	2												4	1,33
034	<i>Drypetes leonensis</i>	Euphorbiaceae	8	1				1								10	3,33
035	<i>Drypetes louisii</i>	Euphorbiaceae	7	7	2											16	5,33
036	<i>Duboscia viridiflora</i>	Tiliaceae	1													1	0,33
037	<i>Funtumia africana</i>	Apocynaceae	1													1	0,33
038	<i>Gambeya africana</i>	Sapotaceae		1												1	0,33
039	<i>Garcinia epunctata</i>	Clusiaceae	5	3												8	2,67
040	<i>Garcinia polyantha</i>	Clusiaceae	3													3	1,00
041	<i>Gilbertiodendron dewevrei</i>	Caesalpiniaceae	65	42	30	14	15	10	9	15	3	3	1	2	1	210	70,00

063	<i>Pancovia larentii</i>	Sapindaceae		1	1												2	0,67
064	<i>Panda oleosa</i>	Pandaceae	2	1	4	1	1										9	3,00
065	<i>Parkia filicoidea</i>	Mimosaceae	2		1												3	1,00
066	<i>Pentaclethra macrophylla</i>	Mimosaceae	1	2	1												4	1,33
067	<i>Petersianthus macrophylla</i>	Iecythidaceae	6	4	2	1			1								14	4,67
068	<i>Polyalthia suaveolens</i>	Annonaceae	10	10	4	1				2							27	9,00
069	<i>Pterocarpus soyauxii</i>	Fabaceae			1				3	1							5	1,67
070	<i>Pycnanthus angolensis</i>	Myristicaceae		1													1	0,33
071	<i>Ricinodendron heudelotii</i>	Euphorbiaceae			1												1	0,33
072	<i>Scorodophloeus zenkeri</i>	Caesalpiniaceae	1	4	2	2	1	1			1						12	4,00
073	<i>Staudtia stipitata</i>	Myristicaceae	4	2	2	2	1										11	3,67
074	<i>Strombosia glaucescens</i>	Olacaceae	3	5	1												9	3,00
075	<i>Strombo grandifolia</i>	Olacaceae	1	3													4	1,33
076	<i>Strombosiopsis tetrandra</i>	Olacaceae	4	4	1	1											10	3,33
077	<i>Symphonia globulifera</i>	Clusiaceae				1											1	0,33
078	<i>Synsepalum dulcificum</i>	Sapotaceae	2	3	1	1											7	2,33
079	<i>Synsepalum subcordatum</i>	Sapotaceae	4	3	1												8	2,67
080	<i>Tessmania africana</i>	Caesalpiniaceae		1	2			2									5	1,67
081	<i>Thonnera congolana</i>	Annonaceae	6	3	1	1			1								12	4,00
082	<i>Treculia africana</i>	Moraceae		1													1	0,33
083	<i>Trichilia rubescens</i>	Meliaceae			1	1											2	0,67
084	<i>Xylia ghesquieri</i>	Annonaceae				1											1	0,33
085	<i>Xylopia aethiopica</i>	Annonaceae	1			1											2	0,67
086	Inconnus		33	16	4	2	4	1									60	20,00
	Total		393	279	153	77	42	39	16	28	6	6	1	3	1		1049	349,67

Annexe II : Distribution des tiges par classe de DHP de *Brachystegia laurentii*

Classe (cm)	Indice de classe (xi)	Fréquences			fixi	$(xi - \bar{x})^2 fi$
		Fr.obs (fi)	Fr.rel (%)	Fr.cm		
10-20	15	40	22,86	40	600	21846,28
20-30	25	46	26,28	86	1150	8222,82
3-40	35	29	16,57	115	1015	329,38
40-50	45	18	10,28	137	810	791,22
50-60	55	13	7,43	140	715	3925,24
60-70	65	9	5,14	155	585	6870,75
70-80	75	3	1,71	158	225	4025,27
80-90	85	9	5,14	167	765	19569,24
90-100	95	3	1,71	170	285	9620,87
100-110	105	2	1,14	170	210	8979,11
110-12	115	2	1,14	174	23	11744,31
120-130	125	1	0,57	175	125	7504,75
TOTAL		175	99,97		6715	102799,18
\bar{X}					38,37 cm	
ECT						24,24 cm
CV						63,17%

$$\bar{X} = \sum fixi / N, \quad \delta^2 = \sum (xi - \bar{x})^2 fi / N, \quad \delta = \sqrt{\delta^2}, \quad CV = \delta / \bar{X} \times 100$$

Annexe III : Distribution des types pare classe de DFB de *Brachystegia laurentii*

Çlasse (cm)	Indice de classe xi	Fréquences			fixi	$(xi-x)^2 fi$
		Fr obs	Fr rel	Fr cum		
4 - 16	10	82	48,86	82	820	17003,52
16 - 28	22	42	24,00	124	924	241,92
28 - 40	34	23	13,14	147	782	2119,68
40 - 52	46	46	4,57	155	368	3732,48
52 - 64	58	8	6,28	160	638	12418,56
64 - 76	70	11	2,28	170	280	8317,44
76 - 88	82	1	0,57	171	82	3317,76
88 - 100	94	4	2,28	175	376	19376,64
TOTAL		175	99,98 %		4270	66528,0
X						
CCT					24,40 cm	19,49 cm
CV						79,88 %

Annex IV : Distribution des tiges par classe de hauteur fût de *Brachystegia laurentii*

Classe (cm)	Indice de classe (xi)	Fréquences			Fi xi	$(xi - \bar{x})^2 \cdot fi$
		Fr. Obs. (fi)	Fr rel (%)	Fr cum		
3-6	4,5	22	12,57	22	99	1185,26
6-9	7,5	36	20,57	58	270	678,08
9-12	10,5	44	25,14	102	462	79,01
12-15	13,5	27	15,43	129	364,5	74,40
15-18	16,5	19	10,86	148	313,5	412,60
18-21	19,5	18	10,28	166	351	1056,16
21-24	24,5	6	3,43	172	135	681,81
24-27	25,5	3	1,17	175	76,5	558,79
Total		175	99,99%		27,5	47727,11
\bar{x}					11,84cm	
ECT						5,19cm
CV						43,83%

Annexe V : Six modèles des équations de régression

VOLUME

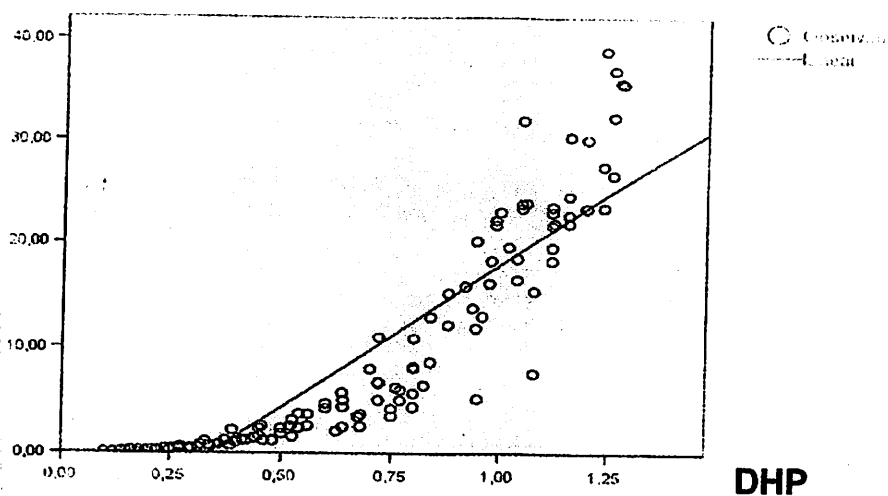


Figure 8 : Modèle d'équation de régression linéaire

VOLUME

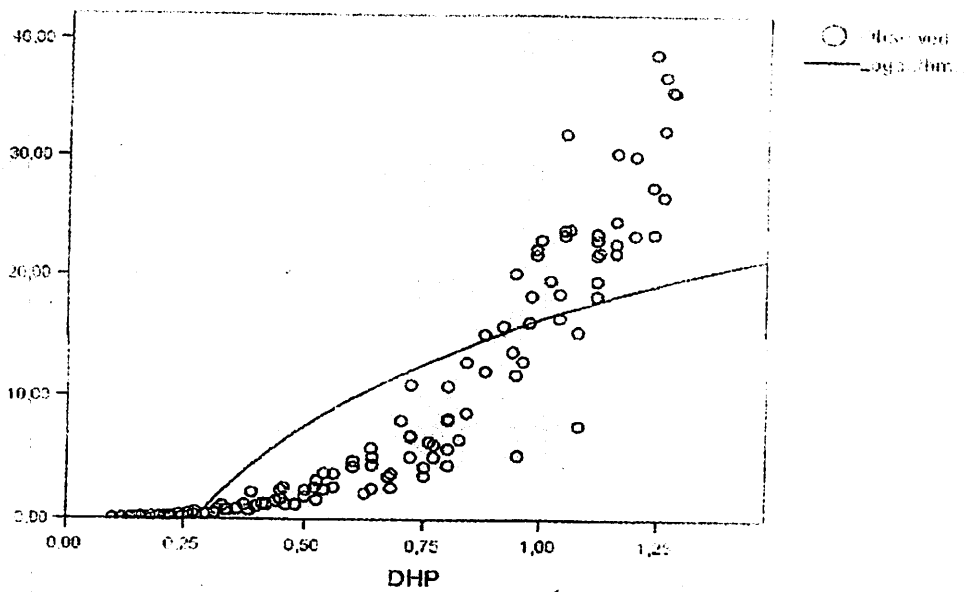


Figure 9 : Modèle d'équation régression logarithmique

VOLUME

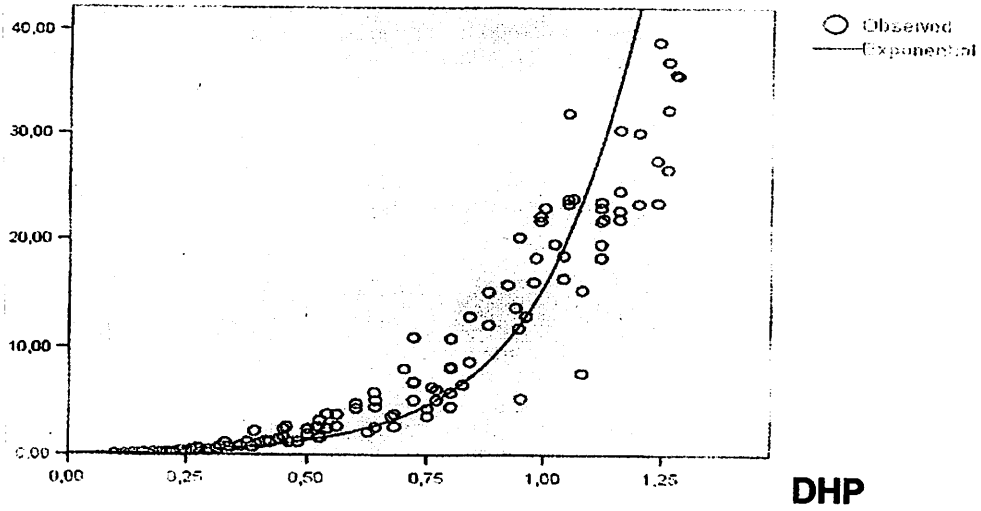


Figure 10 : Modèle d'équation de régression exponentielle

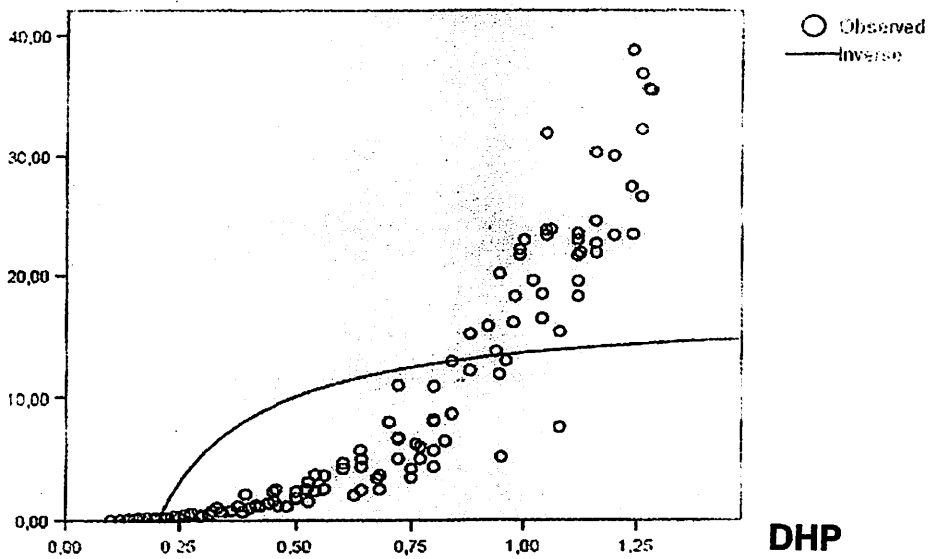


Figure 11 : modèle d'équation de régression inverse

VOLUME

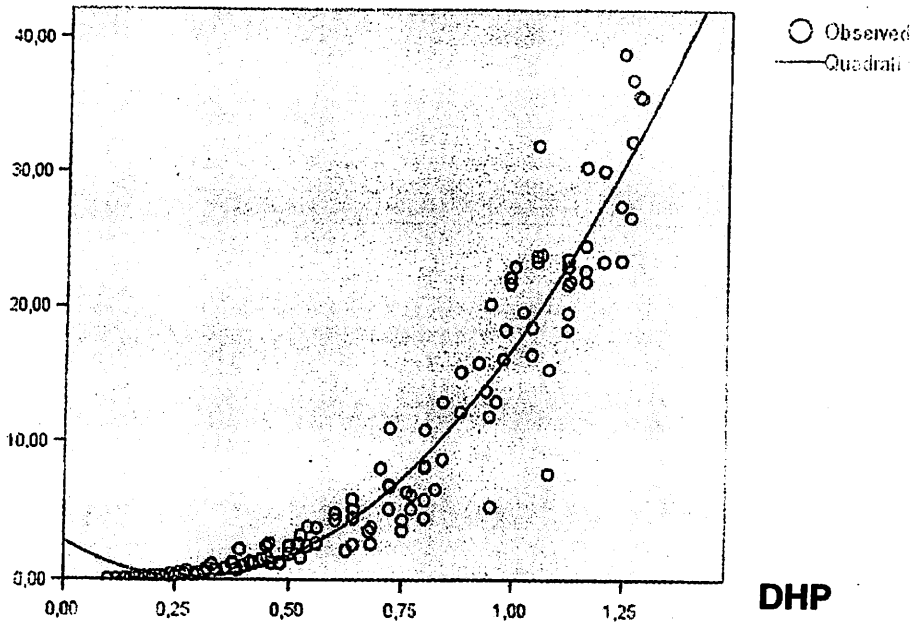


Figure 12 : Modèles d'équation de régression quadratique

VOLUME

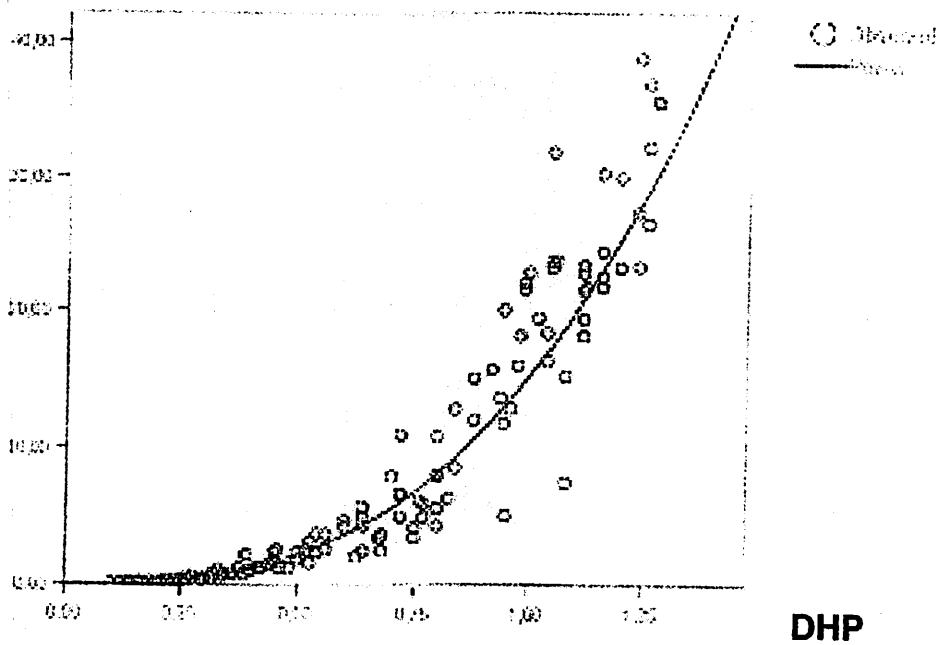


Figure 6 : Modèle d'équation de régression retenue (puissance)

Annexe VI : Données brutes du terrain

DHP(cm)	DHP(m)	DFB(cm)	DFB(m)	HF
10	0,1	8	0,08	5,1
12	0,12	9	0,009	4,3
13,5	0,135	7,5	0,075	4,8
14	0,14	12	0,12	8,5
15	0,15	10	0,1	7,5
16	0,16	10	0,1	9,5
16,25	0,1625	10	0,1	10,25
17	0,17	9	0,09	6,5
18	0,18	12	0,12	10,05
19,5	0,195	10,5	0,105	7,5
20	0,2	14	0,14	9,4
21	0,21	14	0,14	11
22	0,22	16	0,16	6
22,5	0,225	10	0,1	8
24	0,24	16	0,16	10,8
25	0,25	15	0,15	7,5
26	0,26	16	0,16	11,6
27	0,27	16	0,16	11
27,5	0,275	15	0,15	15
29,25	0,2925	19	0,19	9,43
30	0,3	20	0,2	7,9
31,5	0,315	29	0,29	10,15
32	0,32	20	0,2	13,5
33	0,33	28,5	0,285	14
33,75	0,3375	15	0,15	13,5
34	0,34	16	0,16	11,5
36	0,36	24	0,24	11
37,5	0,375	20	0,2	18
38,5	0,385	28	0,28	8,05
39	0,39	20	0,2	12
40	0,4	29,5	0,295	11,8
41,25	0,4125	30,25	0,3025	12,1
42	0,42	28	0,28	11,55
42	0,42	33	0,33	10,8
44	0,44	20	0,2	15,6
45	0,45	30	0,3	14,25
45	0,45	36	0,36	18
45,5	0,455	35,75	0,3575	18
46	0,46	32	0,32	11
48	0,48	3	0,3	9,3
50	0,5	20	0,2	15
50	0,5	35	0,35	12,5

52	0,52	36	0,36	16
52	0,52	38	0,38	14
52,5	0,525	38,5	0,385	18,9
52,5	0,525	43,75	0,4375	10,5
54	0,54	36	0,36	14,4
54	0,54	36	0,36	16
56	0,56	38,5	0,385	16,8
56	0,56	38,5	0,385	13
60	0,6	40	0,4	14
60	0,6	41,25	0,4125	15
62,5	0,625	42,8	0,4125	15
62,5	0,625	42,8	0,428	11
63,75	0,6375	46,75	0,4675	19
64	0,64	34	0,34	12
64	0,64	36	0,36	15,5
64	0,64	48	0,48	20
67,5	0,675	49,5	0,495	12,6
68	0,68	28	0,28	12
68	0,68	54	0,54	12,5
70	0,7	50	0,5	17,5
72	0,72	48	0,48	17
72	0,72	50	0,5	19,8
72	0,72	51,5	0,515	15,5
72	0,72	52	0,52	16,2
75	0,75	56,8	0,568	14
75	0,75	59	0,59	12,4
76	0,76	50,2	0,502	16
77	0,77	58	0,58	14,3
77	0,77	58,75	0,5875	17,05
80	0,8	56	0,56	14,5
80	0,8	61,25	0,6125	23
80	0,8	61,5	0,615	26
80	0,8	69	0,69	20
82,5	0,825	62	0,62	19,5
84	0,84	60,15	0,6015	19
84	0,84	63	0,63	19,95
88	0,88	65	0,65	18
88	0,88	68,2	0,682	15,75
92	0,92	63,25	0,6325	20
93,75	0,9375	69	0,69	17
94,5	0,945	64	0,64	19,75
94,5	0,945	66,8	0,668	19,25
95	0,95	72	0,72	19,2
97,6	0,976	67,25	0,6725	20
98	0,98	69,75	0,6975	16,4
99	0,99	49,5	0,495	15,85
99	0,99	67,75	0,6775	19,225

100	1	62,5	0,625	21,8
102	1,02	72,5	0,725	18
104	1,04	90	0,9	20,2
104	1,04	98	0,98	21
105	1,05	90,5	0,905	19
105	1,05	91	0,91	18,75
105	1,05	93	0,93	19
106	1,06	93	0,93	20
108	1,08	94,5	0,945	18,9
108	1,08	98	0,98	13,8
112	1,12	86	0,86	19,1
112	1,12	90	0,9	16
112	1,12	90	0,9	18
112	1,12	92	0,92	17
112	1,12	98,25	0,9825	19,2
112,5	1,125	97	0,97	22
116	1,16	88	0,88	20
116	1,16	89,5	0,895	21
116	1,16	96,25	0,9625	17
116	1,16	97	0,97	16,75
120	1,2	96,5	0,965	20
120	1,2	99,25	0,9925	24,75
123,75	1,2375	99	0,99	21,25
124	1,24	96,5	0,9655	21
124	1,24	100,75	1,0075	23,25
126	1,26	83,5	0,835	19,5
126	1,26	95	0,95	16
126	1,26	101	1,01	24
127,5	1,275	102	1,02	24
128	1,28	112	1,12	21,2

Annexe VII : Volume observé et volumes calculés de six équations de régression

Vol Lin	Vol Log	Vol Pce	Vol Exp	Vol Inv	Vol Quad	Vol Obs
-4,12517441	-9,16439592	0,032152788	0,21649802	- 17,61	0,68066486	0,03477743
-3,75497578	-7,51717035	0,051244971	0,23656329	- 11,843333	0,58494611	0,03799364
-3,4773268	-6,15303273	0,069251055	0,25282349	- 8,63962963	0,52349701	0,04495619
-3,38477714	-6,12446097	0,075998599	0,25848823	- 7,724285714	0,50498349	0,11349003
-3,19967783	-5,50112918	0,090658545	0,27020133	- 6,076666667	0,47091072	0,0957204
-3,01457851	-4,91804124	0,106921789	0,2824452	- 4,635	0,44077698	0,13281083
-2,96830368	-4,77796514	0,111245025	0,28559189	- 4,302307692	0,4335902	0,14654118
-2,82947919	-4,3703143	0,124846986	0,29524388	- 3,362941176	0,41458227	0,09444413
-2,64437987	-3,85390361	0,144491187	0,30862252	- 2,232222222	0,39232659	0,18470209
-2,3667309	-3,13073956	0,177301827	0,32983572	- 0,753589743	0,36632875	0,14446417
-2,27418124	-2,90200007	0,189157563	0,33722599	- 0,31	0,35963232	0,22000573
-2,08908192	-2,46119424	0,214286935	0,35250701	0,513809523	0,34919373	0,27516425
-1,90398261	-2,04089857	0,241349898	0,36848046	1,262727273	0,34269417	0,17435839
- 1,81143295	-1,83786245	0,255622367	0,37673661	1,612222222	0,34092152	0,19045905
-1,53378397	-1,2547745	0,301478484	0,40263163	2,573333333	0,34151213	0,35286369
-1,34868466	-0,8859589	0,334642583	0,42087643	3,15	0,34682966	0,25034566
-1,16358534	-0,53161045	0,369937344	0,43994797	3,682307692	0,35608622	0,42455483
-0,97848602	-0,19063687	0,407409793	0,45988371	4,175185185	0,3692818	0,42548945
-0,88593636	-0,02485741	0,426977129	0,47018783	4,408181818	0,37735673	0,57800396
-0,56201256	0,53252717	0,499923228	0,5081046	5,160940171	0,41337395	0,45051162
-0,42318807	0,76126667	0,533351862	0,52527673	5,456666667	0,43250274	0,40330196
-0,14553909	1,2020725	0,604207065	0,56138167	6,005873016	0,47740744	0,73071432
-0,05298944	1,34435462	0,629029894	0,57395994	6,1775	0,49434519	0,75492471
0,13210988	1,62236816	0,680514251	0,59986829	6,505151515	0,53117495	1,04526678
027093437	1,82540429	0,72075748	0,62024508	6,738148148	0,5613822b	0,72314922
0,3172092	1,89208155	0,734485339	0,62715517	6,813529412	0,57194375	0,63766477
0,68740783	2,40849224	0,850053828	0,68528059	7,378888889	0,66529842	0,80864595
0,96505681	2,77730783	0,943563884	0,73238341	7,763333333	0,74565439	1,2767288
1,15015612	3,01507754	1,009233271	0,76557054	8,002987013	0,80414881	0,7164132
1,24270578	3,13165629	1,043081588	0,78272385	8,118205128	0,83487317	0,90524992
1,4278051	3,36039578	1,112829882	0,8181921	8,34	0,899276i1	1,14467658
1,65917925	3,63840933	1,20391193	0,864796	8,602121212	0,98531911	1,24333094
1,79800373	3,80120162	1,260666096	0,89402303	8,751904762	1,03989917	1,15568983
1,79800373	3,80120162	1,260668096	0,89402303	8,751904962	1,0398991/	1,21000011
2,16820237	4,22149728	1,419881784	0,9768205	9,126363636	1,19627833	1,43105828
2,35330169	4,42453341	1,50384796	1,02114.835	9,301111111	1,28037645	1,63681885
2,35330169	4,42453341	1,503847926	1,02114.835	9,385604396	1,28037645	2,34747656
2,44585134	4,52436566	1,546936954	1,04402812	9,46826087	1,32390264	2,10380678
2,638401	4,62310684	1,590769371	1,06/42053	9,781666667	1,3684136	1,35638262

2,96859964	5,00762135	1,773623322	1,16635022	10,07	1,97935613	1,1701333
3,27879827	5,37643695	1,968730513	1,27444882	10,07	1,7599525	1,708241
3,27879827	5,37643695	1,968730513	1,27444.882	10,33615385	1,7599525	1,8250508
3,6489969	5,7307854	2,176372565	1,39256611	10,33615385	1,55630499	2,51327411
3,6489969	5,7307854	2,176372565	1,39256611	10,39952381	1,97935613	2,2804821
3,74154656	5,81724278	2,230274177	1,42376784	10,39952381	2,03666893	3,14582005
3,74154656	5,81724278	2,230274177	1,42376784	10,58259259	2,036668	1,92572879
4,01919554	6,0f175898	2,396826144	1,52163065	10,58259259	2,2145i58	2,381 82988
4,01919554	6,07175898	2,396826144	1,52163065	10,81142857	2,214.51588	2,64647764
4,38939417	6,40033073	2,630363234	1,662657&2	10,81142857	2,46543174	3,04681864
4,38939417	6,40033073	2,630363234	1,66265702	11,223333333	2,46543174	2.35765728
5,12979144	7,02366252	3,137753946	1,98513259	11,223333333	3,01453183	2,8588493
5,12979144	7,02366252	3,137753946	1,98513259	11,454	3,01453183	3,12287307
5,59253973	7,39247811	3,48292214	2,21771788	11,56254902	3,389724	2,47867693
5,82391388	7,57136945	3,663791326	2,34403822	11,58375	3,58655219	4,66302178
5,87018871	7,60675047	3,700635869	2,3701 5291	11,58375	3,62665639	2,47494668
5,87018871	7,60675047	3,700635869	2,37015291	11,58375	3,62665639	3,28202183
5,87018871	7,60675047	3,700635869	2,37015291	11,86407407	3,62665639	5,02654822
6,51803632	8,08780014	4,240275034	2,76783284	11,90176471	4,21396515	3,46682209
6,61058598	8,1544774	4,30180543	2,82984868	11,90176471	4,321039138	2,54845995
6,61058598	8,1544774	4,321039138	2,82984868	12,04714286	4,30180543	3,70118883
6,98078461	8,4163719	4,653430362	3,09212212	12,18444444	4,66301413	5,08545309
7,35098324	8,67088809	5,0009383	3,37870334	12,18444444	5,03997894	4,99890221
7,35098324	867088809	5,0009383	3,37870334	12,18444444	5,03997894	5,97464947
7,35098324	8,67088809	5,0009383	3,37870334	12,18444444	5,03997894	4, 76979666
7,35098324	8,67088809	5,0009383	3,37870334	12,37666667	5,03997894	5,01812876
7,9062812	9,03970369	5,551065835	3,859137	12,37666667	5,63496889	4,86622333
7,9062812	9,03970369	5,551065835	3,859137	12,47736842	5,63496889	4,4341381
8,09138051	9,1593707	5,742256989	4,03400943	12,49649351	5,84117693	5,21255564
8,27647983	9,27747339	5,937404373	4,21680599	12,49649351	6,051324	5.218574 15
8,27647983	9,27747339	5,937404373	4,21680599	12,665	6,051324	6,28077374
8,83177778	9,62279163	6,546871964	4,8164134	12,665	6,70539939	5,42992872
8,83177778	9,62279163	6,546871964	4,8164134	12,665	6,70539939	5,69413666
8,83177778	9,62279163	6,546871964	4,8164134	12,665	6,70539939	9,16897128
8,83177778	9,62279163	6,546871964	4,8164134	12,665	6,70539939	10,3962565
8,83177778	9,62279163	6,546871964	4,8164134	12,79606061	6,70539939	8,76582886
9,29452607	9,90080518	7,08271533	5,38072177	12,87095238	7,27754305	8.15556958
9,57217505	10,0635975	7,416616639	5,75056615	12,87095238	7,63264633	7,96418975
9,57217505	10,0635975	7,416616639	5,75056615	13,5318182	7,63264633	1,6373671 8
10,3125723	10,4838931	8,353284181	6,86589965	13,5318182	8,62291774	8,46038752
10,3125723	10,4838931	8,353284181	6,86589965	13,22913043	8,62291774	7,66646897
11,0529696	10,8855027	9,358630253	8,19755424	13,29933333	9,67621363	9.78964445
11,3768934	11,0557449	9,820506143	8,85861943	13,32862434	10,1568480	9,04586503
11,5157179	11,1277351	10,02261328	9,15800927	13,32862434	10,3665282	10,1029079

11,5157179	11,1277351	10,02261328	9,15800927	13,34789474	10,3665282	10,1239956
11,6082675	11,1754119	10,1587464	9,3632029	13,38583333	105075454	7,14222237
11,7933669	11,2700172	10,43437545	9,78748583	13,44491803	10,792534	10,8573442
12,0895258	11,4193549	10,8847644	10,5066892	13,45938776	11,256709	11,0335266
12,1635655	11,4563068	10,99917637	10,6946006	13,49505051	11,3743284	9,31845955
12,3486648	11,5480308	11,28840023	11,1792143	13,49505051	11,6711341	7,62552155
12,3486648	11,5480308	11,28840023	11,1792143	13,53	11,6711341	10,8647338
12,5337641	11,6388328	11,5822075	11,6857878	13,59784314	11,9718788	11,904918
12,9039628	11,8177441	12,183675	12,7688392	13,66307692	12,5851854	11,0695784
13,2741614	11,9931813	12,80378319	13,952269	13,66307692	13,2142481	15,0051575
13,2741614	11,9931813	12,8037831	13,952269	13,6947619	13,2142461	16,8397219
13,4592607	12,0796386	13,12089091	14,5845003	13,6947619	13,534688	14,3370409
13,4592607	12,0796386	13,12089091	14,5845003	13,6947619	13,534688	14,2152158
13,4592607	12,0796386	13,12089091	14,5845003	13,72584906	13,534688	14,6793272
13,64436	12,1652765	13,44273463	15,2453804	13,7862963	13,859067	15,6176424
14,0145587	12,3341548	14,10073017	16,6583387	13,7862963	14,5196419	15,2850783
14,0145587	12,3341548	14,10073017	16,6583387	13,90071429	14,5196419	11,5256552
14,7549559	12,6627266	15,47464855	19,889256	13,90071429	15,8880602	14,9561015
14,7549559	12,6627266	15,47464855	19,889256	13,90071429	15,8880602	12,9710077
14,7549559	12,6627266	15,47464855	19,889256	13,90071429	15,8880602	14,5923837
14,7549559	12,6627266	15,47464855	19,889256	13,90071429	15,8880602	14,0246979
14,7549559	12,6627266	15,47464855	19,889256	13,91444444	15,8880602	16,7361908
14,8475056	12,7029704	15,65187907	20,3348931	14,00724138	16,0635439	19,0630074
15,4953532	12,9797671	16,92711235	23,7468159	14,00724138	17,3195029	16,650441
15,4953532	12,9797671	16,92711235	23,7468159	14,00724138	17,3195029	17,7025309
15,4953532	12,9797671	16,92711235	23,7468159	14,00724138	17,3195029	15,167651
15,4953532	12,9797671	16,92711235	23,7468159	14,10666667	17,3195029	15,039933
16,2357505	13,2860584	18,45967086	28,352557	14,10666667	18,8139701	18,6235575
16,2357505	13,2860584	18,45967086	28,352557	14,10666667	18,8139701	23,5668546
16,9298729	13,5640719	19,97054387	33,4786087	14,1940404	20,2722722	20,9581566
16,9761477	13,5823055	20,07384984	33,8515906	14,19967742	20,3714618	20,3655715
16,9761477	13,5823055	20,07384984	33,8515906	14,19967742	20,3714618	23,3063989
17,3463464	13,7268642	20,91201765	36,9889926	14,24346825	21,1738418	17,4963492
17,3463464	13,7268642	20,91201765	36,9889926	14,24346825	21,1738418	15,6457597
17,3463464	13,7268642	20,91201765	36,9889926	14,24346825	21,1738418	24,5769634
17,6239953	13,8537853	21,55439311	39,5314342	14,27627451	21,7859668	25,1266936
17,716545	13,8691463	21,77115265	40,4171724	14,286875	21,991978	24,0831979

**Annexe VIII: Khi carré et somme des carrés des écarts des équations
exponentielles et puissance**

KHI Exp	KHI Pce	SCE Exp	SCE Pce
0,152529672	0,0002 1425	0,03302237	6,8887E-06
0,166678046	0,00342664	0,03942991	0,0001756
0,170905058	0,0085232	0,04320881	0,00059024
0,081336301	0,01849518	0,02102448	0,00140561
0,11267004	0,00028263	0,03044359	2,5622E-05
0,079273588	0,00626853	0,02239044	0,00067024
0,067701849	0,01119887	0,0193351	0,00124582
0,136566897	0,00740373	0, 04032054	0,00092433
0,049757467	0,01119041	0,01535628	0,00161692
0,104180985	0,00608178	0,03436261	0,00107831
0,040745938	0,00503078	0,01374059	0,00095161
0,0169696	0,01729479	0,0059819	0,00370605
0,102266965	0,01859484	0,03768338	0,00448786
0,092105004	0,01661145	0,03469933	0,00424626
0,006151649	0,0087583	0,00247685	0,00264044
0,069095676	0,02123451	0,02908074	0,00710597
0,000538583	0,00806372	0,00023695	0,00298307
0,002572313	0,00080232	0,00118296	0,00032687
0,024722712	0,05341996	0,01162432	0,0228091
0,006528087	0,00488376	0,00331695	0,00244151
0,028323824	0,03171073	0,01487785	0,01691298
0,051076742	0,02648775	0,02867355	0,01600409
0,057056676	0,02519674	0,03274825	0,01584951
0,330502037	0,19550568	0,19829074	0,1330444
0,017072705	7,9389E-06	0,01058926	5,722E-06
0,000176115	0,01276298	0,00011045	0,00937422
0,022208436	0,00201706	0,01521901	0,00171461
0,4 04636425	0,11766196	0,29634901	0,11102157

0,003156396	0,08495914	0,00241644	0,08574359
0,019179992	0,01821293	0,01501264	0,01899757
0,130277622	0,00091138	0,10659212	0,00101421
0,165690756	0,00129067	0,1432887	0,00155386
0,076585854	0,00874174	0,06846952	0,01102044
0,111676676	0,00203642	0,09984152	0,00256724
0,211157582	8,7975E-05	0,20627605	0,00012491
0,371199903	0,01175735	0,37905017	0,01768127
1,722713965	0,47325881	1,75914652	0,71170927
1,075766823	0,20046325	1,12313081	0,310104
0,078225112	0,03453495	0,08349909	0,05493715
1,22705E-05	0,20534248	1,4312E-65	0,3642002
0,147652578	0,03446626	0,18817565	0,06785479
0,240871464	0,00996774	0,30697835	0,01966317
0,901922288	0,05215222	1,25598642	0,11350265
0,566145324	0,00498021	0,788394/9	0,01083879
2,082828192	0,3758391	2,9654638	0,83822424
0,176970424	0,04153587	0,2519646	3,09274789
0,486282735	9,3827E-05	0,73924271	0,00022489
0,831 52949	0,0260035	1,26528076	0,06232587
1,152314261	0,0659358	0,3 801073	0,17343511
0,290514134	0,0282731	0, 1161533	0,07436854
0384549076	0,02479092	0,0 423705	0,0777878
0,652079769	7,0525E-05	0,011 891	0,00022129
0,030707073	0,28955814	0,8300077	1,00850844
2,294196707	0,27252139	1,1587 78	0,99846149
0,004633344	0,40596104	1,32,3526	1,50231398
0,350823324	0,04735341	0,11877?98	0,17523771
2,977207087	0,47506527	1,95969714	1,75804357
0,176522935	0,1410827	0,55822 75	0,59822946
0,02798016	0,72714847	0,07917962	3,14203698
0,268294788	0,08891713	0,75923365	0,38421441

1,284997228	0,04010883	3,97336835	0,18664363
0,776938403	8,2898E-07	2,62504438	4,1457E-06
1,994533293	0,18958711	6,7389363	0,94811344
0,572746531	0,01068329	1,93514062	0,05342646
0,795487329	5,9091E-05	2,6877157	0,00029551
0,262810795	0,08448995	1,01422286	0,46900926
0,085673626	0,22473658	0,33062626	1,24752757
0,344315304	0,04886293	1,38897118	0,28058352
0,237985678	0,0870274	1,00353943	0,51671689
1010234491	0,01985759	4,25996286	0,11790252
0,078149655	0,19055852	0,37640104	1,24756221
0,159952656	0,11106945	0,77039812	0,7271575
3,933375012	1,05018166	18,9447601	6,87540485
6,464280956	2,26333456	31,1346494	14,8177616
3,238484986	0,75207973	15,5978825	4,92376972
1,430993966	0,16251059	7,69978039	1,15101625
0,852112523	0,04042764	4,90012943	0,29983631
1,449182556	0,2009315	8,33362016	1,49023188
0,370292563	0,00137325	2,54239158	0,01147113
0,093347015	0,05647062	0,64091124	0,47171514
0,309208231	0,01985047	2,53475124	0,18577324
0,003957831	0,06110366	0,03506091	0,60006885
0,09749208	0,00064327	0,89283337	0,00644722
0,101892191	0,00102552	0,93312963	0,01027838
0,526823413	0,89572245	8 4,93275451	9,09941719
0,11694493	0,01714549	1,14459684	0,17890253
0,026417236	0,00203314	0,27755769	0,02213021
0,177076664	0,25682005	1,8937642	2,82480901
1,129661885	1,1885369	12,6287323	13,4166802
0,008846594	0,01590068	0,09889797	0,17949321
0,004109101	0,00899156	0,04801808	0,1041421
0,22613546	0,10187495	2,88748733	1,24121127

0,079454758	0,3784857	1,10857416	4,8460489
0,597564766	1,27218662	8,33738438	16,2888017
0,004198715	0,11272259	0,06123615	1,47902078
0,009350408	0,09127025	0,13637102	1,19754701
0,000616555	0,18510357	0,00899215	2,42872376
0,009089901	0,35187958	0,138579	4,73022384
0,113207219	0,09947574	1,8858442	1,40268055
1,58145666	0,47026013	26,3444408	6,63101127
1,223575812	0,01737623	24,3360125	0,268891
2,40643286	0,40506364	47,8621591	6,26821754
1,410653887	0,05030107	28,0568562	0,77839134
1,729227164	0,13585814	34,3930417	2,10235699
0,499858826	0,10284491	9,94182014	1,59148876
0,079552573	0,74341213	1,61769307	11,6357967
2,12064373	0,00452216	50,3585361	0,07654704
1,538453855	0,03552135	36,5333804	0,60127395
3,099450055	0,18288437	73,6020697	3,09570428
3,192419979	0,21039891	75,8098094	3,56144599
3,338444243	0,001455	94,6534306	0,02685884
0,806778801	1,41465025	22,8742419	26,113978
4,682444309	0,04884088	156,761721	0,97537893
5,371055432	0,00429775	181,818769	0,08627244
3,284958394	0,52054657	111,201067	10,4493737
10,27233025	0,55789888	379,963148	11,6667911
12,3153825	1,32619786	455,533592	27,7334731
416496135	0,64231235	154,057725	13,4320471
5,248900227	0,59205242	207,496554	12,7613305
6,601122977	0,24553376	266,798726	5,34555303