

**COMPARAISON DES ÉQUATIONS DE RÉGRESSION :  
APPLICATION À LA CONSTRUCTION DE TARIFS DE CUBAGE  
DE *TERMINALIA SUPERBA* ENGL. & DIELS**

**Irié Casimir ZOB<sup>1</sup>\*, Nogbou Emmanuel ASSIDJO<sup>2</sup>,  
Djédjro Clément AKMEL<sup>2</sup> et Nianzou Baptiste EHOUSOU<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Laboratoire des Sciences Agronomiques et du Génie Rural, Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny (INP-HB), BP 2661 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire.*

<sup>2</sup>*Laboratoire des Procédés Industriels, de Synthèse et de l'Environnement, Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny (INP-HB), BP 1313 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire.*

<sup>3</sup>*Sous-direction Technique de l'Aménagement, Société de Développement des Forêts (SODEFOR), 01 BP 3770 Abidjan 01, Côte d'Ivoire.*

(Reçu le 30 Mai 2010, accepté le 11 Octobre 2010)

\* Correspondance et tirés à part, e-mail : [iczobi@gmail.com](mailto:iczobi@gmail.com)

## **RÉSUMÉ**

L'étude traite du cubage individuel de *Terminalia superba* Engl. & Diels en Côte d'Ivoire. Le volume fût des arbres est estimé selon quatre provenances ou échantillons: forêt naturelle sempervirente (711 arbres), plantation sempervirente (501 arbres), forêt naturelle semi-décidue (723 arbres) et plantation semi-décidue (1173 arbres). Le test statistique proposé par Kozak pour comparer les équations de régression a servi à préciser si des tarifs de cubage séparés doivent être utilisés pour chaque provenance, ou si toutes les provenances doivent continuer d'être décrites par un seul tarif comme c'est le cas depuis 1966.

Comparés au tarif de cubage unique actuellement en vigueur, les résultats obtenus montrent que l'usage de quatre tarifs séparés est nécessaire. Les estimations de volume sont alors plus précises et l'erreur-type est significativement plus faible. Cependant, la fonction puissance qui est utilisée pour cuber les arbres semble d'un usage peu aisé. Ainsi, un tableau chiffré donnant directement le volume des arbres, en fonction du diamètre de référence (1,30m au-dessus du sol), est-il proposé aux gestionnaires forestiers.

**Mot-clés :** *Comparaison d'équations, Tarif de cubage, Forêt naturelle, Plantation forestière, Terminalia superba Engl. & Diels.*

**ABSTRACT****Comparison of regression equations for constructing volume tables of *Terminalia superba* Engl. & Diels.**

The purpose of this paper is the use of volume table for *Terminalia superba* Engl. & Diels in Côte d'Ivoire. The bole volumes were estimated using trees samples from different origins: evergreen natural forest (711 trees), evergreen plantation (501 trees), semi-deciduous natural forest (723 trees) and semi-deciduous plantation (1173 trees). Kozak's procedure was used to compare simple or multiple regression equations. The purpose of this statistical test is to determine if the volume table is specific to each tree origin or if it is indifferent to the origin as it is thought since 1966.

The result obtained herein point out the need to use different regression equation according to the origin. Volume estimations are then more accurate and the standard error is significantly lower. However, the use of a power function to estimate bole volumes is somewhat difficult. Therefore, a table giving directly the trees volume according to their diameter (at 1.30m above ground) is proposed for forest managers.

**Keywords :** *Comparison of equations, Volume table, Uneven-aged forest, forestry planting, Terminalia superba Engl. & Diels.*

**I - INTRODUCTION**

La certification forestière est l'un des nombreux instruments de marché visant à promouvoir une meilleure gestion forestière. Elle vise à prouver qu'il est possible de concilier le souci de préservation avec la demande accrue de bois du consommateur, c'est-à-dire satisfaire nos besoins en matériaux bois actuels et futurs tout en respectant l'environnement [1, 2]. C'est le concept de développement durable [3] dont les inventaires forestiers constituent l'un des jalons essentiels.

Ces inventaires permettent d'identifier les peuplements forestiers, de mesurer leur superficie avec si possible leur âge et de calculer les volumes de bois sur pied. De plus, des inventaires périodiques offrent la possibilité de suivre l'évolution des caractéristiques des peuplements et des types forestiers à l'aide de cartes écoforestières. Les peuplements forestiers et le milieu sont alors délimités et décrits, ainsi que les perturbations naturelles et les interventions qui les ont affectés. Et c'est à partir de toutes ces données que la possibilité forestière est calculée.

Toutefois, les paramètres dendrométriques simples tels que le diamètre, la hauteur, la densité, etc. ne suffisent pas pour estimer directement la

possibilité forestière ou le potentiel de bois sur pied. Cette estimation nécessite en effet de définir au préalable une loi de passage des paramètres dendrométriques au volume. C'est notamment à cette problématique d'estimation forestière que la construction et l'utilisation des tarifs de cubage se proposent de répondre ; ce sont, soit des tableaux chiffrés ou des graphiques, soit des équations de régression simple ou multiple.

Afin d'estimer la possibilité forestière en Côte d'Ivoire, la Société de Développement des Forêts (SODEFOR) utilise encore de nos jours, des tarifs de cubage établis depuis 1966. Conçus indépendamment du type phytogéographique (forêt sempervirente ou semi-décidue) et de la nature du peuplement (forêt naturelle ou plantation), ces tarifs fournissent souvent des estimations entachées d'erreur : sous-estimation ou surestimation de volume d'arbres sur pied.

Dans le cas du Fraké (*Terminalia superba* Engl. & Diels), la présente étude se propose de résoudre ce problème récurrent d'estimation forestière. L'objectif est de préciser si des tarifs de cubage séparés doivent plutôt être utilisés pour chaque provenance ou type forestier (régionalisation des tarifs de cubage), ou si l'on doit continuer d'utiliser un seul et même tarif quelque soit la provenance des arbres. Pour ce faire, on a appliqué la méthode statistique (tests de parallélisme et de coïncidence) proposée par Kozak [4] et reprise par Decourt [5] afin de comparer quatre tarifs de cubage régionalisés. Ce sont des tarifs individuels à une seule entrée correspondant à des équations de régression simple qui expriment le volume des arbres en fonction de leur diamètre de référence.

## II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

### II-1 Sites d'étude

L'étude concerne aussi bien les forêts naturelles que les forêts artificielles (plantations forestières). Les sites d'étude ont été choisis de sorte à représenter les différents types forestiers du sud de la Côte d'Ivoire. Quatre (4) échantillons d'arbres ont ainsi été collectés entre 2005 et 2008 dans 7 forêts classées, dont 3 sont situées région sempervirente et 4 en région semi-décidue. La description du climat local s'est faite en combinant les données de température et de pluviométrie annuelle sur une période de 23 ans (de 1985 à 2008). Le **Tableau 1** présente les principales caractéristiques des différents sites.

**Tableau 1** : Caractéristiques environnementales des sept (7) forêts classées inventoriées.

Type forestier	Forêt classée	Superficie (ha)	Latitude (degrés)	Longitude (degrés)	Pluviométrie (mm)	Température (°C)	DCA abondance	
							Axe 1	Axe 2
humide Semper-virente	Angué-dédou	-	5,39	- 4,04	2000	26,5	38,4	47,7
	Yappo-abbé	-	5,75	- 3,58	1750	27,0	37,7	46,1
	Irobo	681,65	5,49	- 4,96	1642	26,5	63,3	47,7
humide semi-décidue	Seguié	-	5,97	- 3,53	1575	26,5	38,4	48,1
	Sangoué	1020,51	6,09	- 5,52	1424	27,0	37,5	48,9
	Mopri	654,24	5,81	- 5,04	1472	26,5	33,5	45,4
	Téné	706,72	6,68	- 5,65	1308	27,5	22,4	21,1

Axis 1 et Axis 2 sont les résultats de l'Analyse des Correspondances Décentrée (DCA) appliquée aux données log-transformées d'abondance [6].

## II-2. Collecte des données et calcul de volume

Les mesures effectuées sont le diamètre et la hauteur fût des arbres. Le diamètre est mesuré à l'aide d'un relascope de Bitterlich sur des billons successifs de 1m. Les découpes sont la base et le sommet des billons, depuis le niveau de référence (1,30 m au-dessus du sol) jusqu'au sommet du fût (**Tableau 2**).

**Tableau 2** : Limites supérieure et inférieure des classes de diamètre (D) et de hauteur (H)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Classe H (m)	< 8	8,0 9,9	10 11,9	12 13,9	14 15,9	16 17,9	18 19,9	20 21,9	22 23,9	24 25,9	26 27,9	28 29,9	30 31,9	32 33,9	≥ 34
Classe D(cm)	< 20	20 29,9	30 39,9	40 49,9	50 59,9	60 69,9	70 79,9	80 89,9	90 99,9	100 109,9	110 119,9	120 129,9	130 139,9	140 149,9	≥ 150

Afin de simplifier la présentation des données, les lettres "P" et "N" sont employées pour représenter respectivement les plantations forestières et les forêts naturelles. On note également "1" la région semi-décidue, "2" la région sempervirente. Les différentes provenances ou échantillons sont alors désignée par N1 (forêt naturelle située en région semi-décidue), N2 (forêt naturelle située en région sempervirente), P1 (plantation située en région semi-décidue) et P2 (plantation située en région sempervirente). Le **Tableau 3** donne la répartition des échantillons d'arbres par classes de diamètre et de hauteur.

**Tableau 3 : Répartition des échantillons d'arbres par classes de diamètre (D) et de hauteur (H)**

Classes D	Classes H															Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
N1	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
	2	-	1	10	13	9	9	8	3	-	-	-	-	-	-	53
	3	-	1	2	9	13	23	16	7	2	-	-	-	-	-	73
	4	-	-	2	11	9	14	17	17	3	1	-	-	-	-	74
	5	-	-	1	7	3	12	22	21	3	1	-	-	-	-	70
	6	-	1	3	3	7	16	27	24	7	1	2	2	-	-	93
	7	-	-	1	5	15	20	23	21	5	9	3	1	-	-	103
	8	-	-	-	3	4	7	16	11	2	7	4	2	2	1	59
	9	-	-	-	1	5	8	19	19	6	4	5	1	2	-	70
	10	-	-	-	-	4	8	11	9	4	1	5	2	1	-	45
	11	-	-	-	-	6	6	9	12	2	2	1	-	-	-	38
	12	-	-	-	2	3	5	2	3	3	6	1	-	-	-	25
	13	-	-	-	-	-	2	3	2	-	-	-	-	1	-	8
	14	-	-	-	-	2	-	2	3	1	-	-	-	-	-	8
	15	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	1	-	-	-	3
$\Sigma$ (N1)		-	3	19	55	80	132	175	152	38	32	22	8	6	1	723
N2	2	2	2	9	17	23	19	19	8	-	-	-	-	-	-	99
	3	-	4	7	16	25	23	21	9	1	-	-	-	-	-	106
	4	1	-	6	3	8	16	25	14	2	-	-	-	-	-	75
	5	-	-	3	5	-	11	28	31	7	-	-	-	-	-	85
	6	2	-	1	3	6	12	34	30	14	4	2	-	-	-	108
	7	-	-	2	-	6	12	44	24	24	7	2	-	2	2	125
	8	-	-	-	2	2	3	17	20	13	5	-	-	-	-	62
	9	-	-	-	3	3	1	5	8	16	3	-	-	-	-	39
	10	-	-	3	-	1	-	-	2	-	-	-	-	-	-	6
	11	-	-	-	2	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	5
	13	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	1
$\Sigma$ (N2)		5	6	31	51	75	97	193	148	77	19	4	-	2	2	711

<b>P1</b>	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
	2	-	3	7	12	23	22	24	15	7	5	-	-	-	-	-	118
	3	-	3	7	7	18	43	87	130	83	58	10	2	1	-	-	449
	4	-	1	3	3	14	34	96	145	124	81	31	9	-	-	-	541
	5	-	-	-	1	3	7	9	12	11	10	3	2	-	-	-	58
	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	-	2	-	-	-
$\sum$ (P1)		-	7	18	23	58	106	216	302	227	156	44	15	1	-	-	<b>1173</b>
<b>P2</b>	2	-	-	1	2	11	11	10	9	4	2	-	-	-	-	-	50
	3	-	1	-	4	4	14	22	37	36	15	5	-	1	-	-	139
	4	-	-	-	2	4	5	22	37	67	67	37	12	1	-	-	254
	5	-	-	-	-	-	2	1	5	9	10	6	12	7	1	-	53
	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	2	-	-	-	5
$\sum$ (P2)		-	1	1	8	19	32	55	88	116	95	50	26	9	1	-	<b>501</b>
$\sum$ <b>Total</b>		<b>5</b>	<b>17</b>	<b>69</b>	<b>137</b>	<b>232</b>	<b>367</b>	<b>639</b>	<b>690</b>	<b>458</b>	<b>302</b>	<b>122</b>	<b>49</b>	<b>18</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>3108</b>

Chaque arbre est représenté par une série de diamètres  $D_i$  et  $D_{i+1}$  mesurés à la base et au sommet des billons. On a  $i = 0, \dots, n$  ;  $n$  correspond au nombre total de billons. Soit donc  $\beta_1$  et  $\beta_2$  deux billons contigus d'un même arbre  $\beta$ , le diamètre au sommet du premier billon ( $\beta_1$ ) correspond au diamètre à la base du second billon ( $\beta_2$ ), et ainsi de suite. Exprimé en mètre cube ( $m^3$ ), le volume fût ( $V_\beta$ ) de cet arbre est calculé par formule de cubage de Smalian (1) [7] :

$$V_\beta = \frac{\pi}{4} \sum_{i=0}^n \left( \frac{D_i + D_{i+1}}{2} \right)^2 \quad (1)$$

### II-3. Équations de régression ou tarifs de cubage

Le choix de l'équation de cubage s'est fait suite à plusieurs tests dont l'ajustement analytique, les tests d'hypothèses sur les paramètres, la comparaison de modèles emboîtés construits à partir d'échantillons de différentes tailles, et l'analyse des résidus. Les types de modèle d'ajustement qui ont été testés sont : le modèle linéaire simple ( $V = b_0 D + b_1$ ), le polynôme de second degré ( $V = b_0 D^2 + b_1 D + b_2$ ), le modèle exponentiel ( $V = b_0 e^{b_1 D}$ ) et

la fonction puissance ( $V = b_0 D^{b_1}$ ). Les tests ont permis de conclure que dans cette famille de modèle, la fonction puissance (2) offre le meilleur ajustement pour les 4 nuages de points-arbres.

$$V = b_0 D^{b_1} \quad (2)$$

L'intérêt de ce modèle (2) est que l'on peut la linéariser en transformant les variables  $V$  et  $D$  en logarithme népérien. On obtient alors l'équation suivante :

$$\ln(V) = \ln(b_0) + b_1 \ln(D) \quad (3)$$

Il est alors possible d'estimer les paramètres  $b_0$  et  $b_1$  par la méthode des moindres carrés. Les constants  $\ln(b_0)$  et  $b_1$  étant déterminés, on retrouve l'équation d'origine (2) grâce à la fonction inverse : la fonction exponentielle. Cette procédure introduit un biais négligeable [8 - 9].

On construit ainsi 4 tarifs de cubage différents correspondant aux types de peuplements forestiers considérés (N1, N2, P1 et P2). Le traitement des données, les graphes et tests statistiques ont été réalisés avec le logiciel libre R 2.13.1 [10, 11].

#### II-4. Comparaison des tarifs de cubage

La méthode utilisée pour comparer les tarifs de cubage est celle qui a été proposée par Kozak [4] et appliquée par Decourt [5]. Le principe général est qu'on dispose de  $p$  séries d'observations d'une variable indépendante et de  $m$  variables dépendantes :  $x_1, x_2, \dots, x_m$ . Les  $p$  séries comportent chacune  $n_1, n_2, \dots, n_p$  éléments d'observations. On peut ajuster par la méthode des moindres carrés  $p$  équations de régression de la forme :

$$y = b_0 + b_1 x_1 + \dots + b_j x_j + \dots + b_m x_m$$

La seule hypothèse faite par Kozak est que les écarts entre les  $y$  comparés et les  $y$  ajustés constituent pour les  $p$  séries d'observation, des populations normales identiques, de moyenne nulle et de même variance  $s^2$ . Kozak propose de tester d'abord l'identité des coefficients de régression (hypothèse de parallélisme des  $p$  surfaces représentatives des  $p$  équations de régression) puis, s'il y a parallélisme, de tester l'identité des  $p$  coefficients  $b_0$  (hypothèse de coïncidence des  $p$  surfaces représentatives des équations).

La démarche suivie est la suivante : soit  $M_i$  la matrice des produits centrés de la  $i^{\text{ème}}$  série d'observations,  $B_i$  le vecteur des  $m$  coefficients de régression et  $W_i$  le vecteur formé par les  $m$  sommes des produits centrés de la variable indépendante et des  $m$  variables dépendantes. Les coefficients  $B_i$  sont solutions du système d'équations bien connu :

$$M_i \cdot B_i = W_i \quad (\text{Équations normales}) \quad (4).$$

De plus, si  $\sum_i Y^2$  représente la somme des carrés des écarts de la variable dépendante  $y$  à sa moyenne  $\bar{y}$ , la somme des carrés résiduels sera :  $(SC) = \sum_i Y^2 - B_i \cdot W_i$  avec  $ddl = n_i - m - 1$ . Pour les  $p$  équations, la somme totale des carrés résiduels sera  $SC = \sum_{i=1}^{i=p} (SC)$  avec  $ddl = \sum_{i=1}^{i=p} n_i - m_p - p$ .

Si on s'impose la condition  $B_1 = B_2 = \dots = B_i = \dots = B$  (hypothèse de parallélisme), on aura en sommant membre à membre les  $p$  équations normales [4] telles que :

$$\left( \sum_{i=1}^{i=p} M_i \right) \cdot B = \sum_{i=1}^{i=p} W_i \quad (5)$$

$B$  apparaît donc comme la solution de (5) avec une somme des carrés résiduels :  $SC' = \sum_{i=1}^{i=p} (\sum_i Y^2) - B \cdot \sum_{i=1}^{i=p} W_i$  et  $ddl = \sum_{i=1}^{i=p} n_i - m_p - p$ .

Enfin, si on suppose que les  $p$  séries d'observations font partie d'une même population et qu'on peut ajuster une seule équation à partir des  $N = \sum_{i=1}^{i=p} n_i$

éléments d'observations (hypothèse de coïncidence), on le fera en résolvant le système d'équations :  $M \cdot B = W$  où  $M$ ,  $B$  et  $W$  sont définis comme pour l'équation (4), mais calculés à partir de la totalité des données. Dans ce cas, la somme des carrés résiduels sera :  $SC'' = \sum Y^2 - B \cdot W$  avec

$ddl = \sum_{i=1}^{i=p} n_i - m_p - p$  ;  $\sum Y^2$  est la somme des carrés des écarts de  $y$  calculés à partir de la totalité des observations.

Selon Kozak , on peut tester l'hypothèse du parallélisme, en comparant par une analyse de variance (Anova) les quantités  $SC'$  et  $(SC' - SC)$  (**Tableau 4**).



Si le parallélisme est vérifié, on peut alors tester l’hypothèse de coïncidence en comparant de la même façon les quantités  $SC'$  et  $(SC'' - SC')$  (**Tableau 5**).

**Tableau 4** : Anova associée au test de parallélisme de  $p$  équations de régression

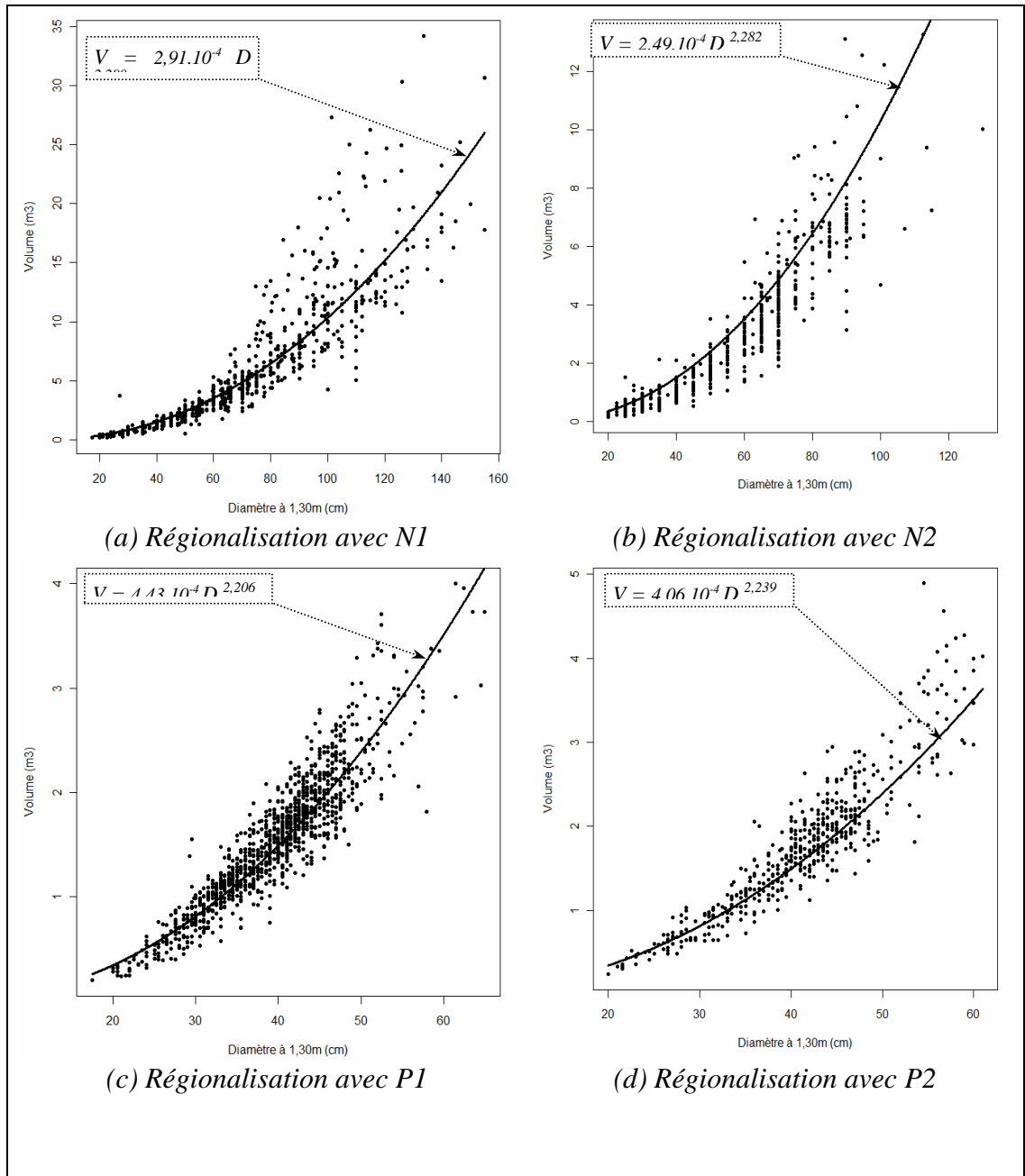
Source de variation	ddl	Somme des carrés	Carrés moyens	F
Erreur résiduelle quand on ajuste $p$ équations séparées	$N - mp - p$	$SC$		
Erreur résiduelle quand on ajuste $p$ équations "parallèles"	$N - m - p$	$SC'$	$CM' = \frac{SC'}{N - m - p}$	
Différence	$m(p - 1)$	$SC' - SC$	$CMD = \frac{SC' - SC}{m(p - 1)}$	$\frac{CMD}{CM'}$

**Tableau 5** : Anova associée au test de coïncidence de  $p$  équations de régression

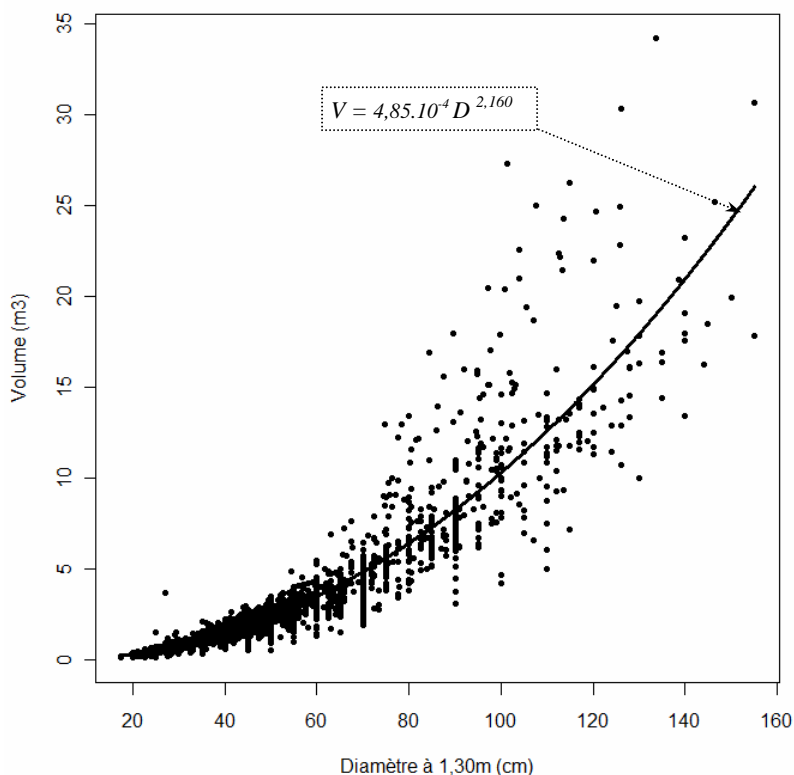
Source de variation	ddl	Somme des carrés	Carrés moyens	F
Erreur résiduelle quand on ajuste $p$ équations "parallèles"	$N - m - p$	$SC'$		
Erreur résiduelle quand on ajuste une seule équation	$N - m - 1$	$SC''$	$CM'' = \frac{SC''}{N - m - 1}$	
Différence	$p - 1$	$SC'' - SC'$	$CM'D = \frac{SC'' - SC'}{p - 1}$	$\frac{CM'D}{CM''}$

### III – RÉSULTATS

Pour appliquer la méthode de Kozak, nous nous sommes servis des données collectées selon les 4 situations sylvicoles suivantes : forêt naturelle en région sempervirente (N1), forêt naturelle en région semi-décidue (N2), plantation en région sempervirente (P1) et plantation en région semi-décidue (P2). On a déterminé l'équation "tarif de cubage" dans chaque cas ; c'est les tarifs régionalisés (**Figure 1a, b, c et d**). On a ensuite établi un tarif de cubage unique à partir de l'ensemble des données ; c'est le tarif non régionalisé (**Figure 2**).



**Figure 1 :** Tarifs de cubage séparés, régionalisés selon N1 (a), N2 (b), P1 (c) et P2 (d).



**Figure 2** : Tarif de cubage unique, non régionalisation

Le **Tableau 6** présente le résultat du test de parallélisme, tandis que le **Tableau 7** donne celui du test de coïncidence des tarifs de cubage. L'effectif total des arbres est  $N = 3107$  répartis en  $n_1 = 723$ ,  $n_2 = 710$ ,  $n_3 = 1173$  et  $n_4 = 501$  respectivement pour N1, N2, P1 et P2. On note par ailleurs que  $m = 1$  et  $p = 4$ .

Le parallélisme des tarifs de cubage n'est pas vérifié car le résultat du test est très hautement significatif ( $F = 9,60$  ;  $P < 0,001$ ). Mais le test de coïncidence n'est pas significatif ( $F = 2,79$  ;  $P > 0,05$ ).

Notons qu'on a comparé directement les 4 tarifs de cubage séparés avec le tarif unique en étudiant les quantités  $SC$  et  $(SC'' - SC)$ . Le résultat montre une différence très hautement significative ( $F = 6,21$  ;  $P < 0,001$ ) (**Tableau 7**).

**Tableau 6:** Anova associée au test de parallélisme de 4 équations "tarifs de cubage"

Source de variation	ddl	Somme des carrés	Carrés moyens	F
Erreur résiduelle quand on ajuste 4 tarifs séparés	3099	3628,46		
Erreur résiduelle quand on ajuste 4 tarifs "parallèles"	3102	3595,08	1,16	9,60***
Différence	3	33,38	11,13	

\*\*\* Significatif au seuil de 0,001.

**Tableau 7 :** Anova associée au test de coïncidence de 4 équations "tarifs de cubage"

Source de variation	ddl	Somme des carrés	Carrés moyens	F
Erreur résiduelle quand on ajuste 4 tarifs "parallèles"	3102	3595,08		
Erreur résiduelle quand on ajuste un seul tarif	3105	3585,43	1,15	2,79 ns
Différence	3	9,65	3,22	

ns : Non significatif au seuil de 0,05.

**Tableau 8 :** Anova associée à la comparaison directe des 4 tarifs avec le tarif unique

Source de variation	ddl	Somme des carrés	Carrés moyens	F
Erreur résiduelle quand on ajuste 4 tarifs séparés	3099	3628,46		
Erreur résiduelle quand on ajuste un seul tarif	3105	3585,43	1,15	6,21***
Différence	6	43,03	7,17	

\*\*\* Significatif au seuil de 0,001.

Précisons que les tarifs de cubage ont tous été validés après un test de fiabilité des paramètres (**Tableau 9**). Aussi, a-t-on testé la normalité et l'homogénéité des écarts entre les volumes calculés et les volumes observés pour les 4 séries d'observations utilisées : N1, N2, P1 et P2. Le résultat du test de Bartlett n'est pas significatif car  $w = 0,0067$  et  $p = 0,935$ .

**Tableau 9** : Résultats des calculs de régression

Type forestier	Nombre d'arbres	Coefficients		Écart-type résiduel	Coefficient de Pearson
FN.1	723	$2,91.10^{-4}$	$2,28_0$	0,287	0,966
FN.2	711	$2,49.10^{-4}$	$2,28_2$	0,317	0,934
PL.1	1173	$4,43.10^{-4}$	$2,20_6$	0,161	0,936
PL.2	501	$4,06.10^{-4}$	$2,23_9$	0,160	0,947

#### IV - DISCUSSION

Le test direct qui fait l'objet du **Tableau 8** se déduit des tests précédents : le test de parallélisme (**Tableau 6**) et le test de coïncidence (**Tableau 7**) des équations ou tarifs de cubage. Cette méthode directe apporte toutefois moins d'informations sur la nature des différences constatées entre les tarifs. Elle montre simplement qu'ils ne sont pas identiques ou équivalents.

Or, la méthode de Kozak (tests de parallélisme et de coïncidence) précise que les ordonnées à l'origine des 4 tarifs coïncident, c'est-à-dire qu'elles ne sont pas significativement différentes ; Et seul, leur parallélisme n'est pas acceptable du point de vue de la statistique. Sans vouloir affirmer que les volumes calculés à l'aide du tarif unique sont relativement erronés, nous pouvons dire que l'usage de tarifs de cubage séparés, dépendants de la typologie des forêts, pourrait accroître la précision de ces estimations.

En effet, le lien entre le type forestier (P1, P2, N1 et N2) étant significatif, la régionalisation des tarifs de cubage s'impose aux usagers forestiers ivoiriens. Cette démarche devrait accroître le calcul du volume sur pied des arbres et plus généralement, améliorer les prévisions de possibilité forestière.

La fonction puissance qui a été proposée ici pour cuber les arbres de Fraké (*Terminalia superba* Engl. & Diels) semble peu pratique et difficile à manipuler. Ainsi, un tableau chiffré donnant directement le volume des

arbres, en fonction du diamètre de référence (1,30m du sol), a-t-il été proposé aux gestionnaires forestiers (**Tableau 10**).

**Tableau 10** : *Ordre de grandeur du volume des arbres de Terminalia superba Engl. & Diels suivant la classe de diamètre et le type de peuplement forestier.*

Classe D	Type de peuplement forestier				Classe D	Type de peuplement forestier			
	P1	P2	N1	N2		P1	P2	N1	N2
20-30	0,612	0,571	0,596	0,505	100-110	-	-	12,215	9,871
30-40	1,187	1,187	1,210	1,014	110-120	-	-	14,792	11,917
40-50	1,946	2,050	2,054	1,707	120-130	-	-	17,629	14,164
50-60	2,888	3,172	3,133	2,586	130-140	-	-	20,729	16,612
60-70	4,012	4,562	4,453	3,655	140-150	-	-	24,092	19,262
70-80	-	-	6,017	4,916	150-160	-	-	27,722	22,116
80-90	-	-	7,831	6,372	≥ 160	-	-	31,620	25,173
90-100	-	-	9,896	8,022	-	-	-	-	-

*D = Diamètre ; P1 Plantation en région sempervirente; P2 = Plantation en région semi-décidue.*

*N1 = Forêt naturelle en région sempervirente; N2 = Forêt naturelle en région semi-décidue.*

## V - CONCLUSION

Ce travail effectué sur le cubage individuel de *Terminalia superba* Engl. & Diels en Côte d'Ivoire montre que l'usage de quatre tarifs séparés est nécessaire, comparés au tarif de cubage unique actuellement en vigueur. Les estimations de volume sont alors plus précises et l'erreur-type est significativement plus faible. Cependant, la fonction puissance qui est utilisée pour cuber les arbres semble plus difficile à l'usage. Pour ce faire, nous avons proposé aux gestionnaires forestiers un tableau chiffré donnant directement le volume des arbres, en fonction du diamètre de référence.

**RÉFÉRENCES**

- [1]- R. Roy Lewis III, “Ecological engineering for successful management and restoration of mangrove forests”. *Ecol. Eng.*, série 4, vol. 24 (2005) 403-418.
- [2]- O. Widenfalk and J. Weslien, “Plant species richness in managed boreal forest; Effects of stand succession and thinning”. *For. Ecol. Manage.*, ser. 5, vol. 257 (2009) 1386-1394.
- [3]- M. Kariuki, “Modelling the impacts of various thinning intensities on tree growth and survival in a mixed species eucalypt forest in central Gippsland, Victoria, Australia”. *For. Ecol. Manage.*, série 12, vol. 256 (2008) 2007-2017.
- [4] - A. Kozak, “A simple method to test parallelism and coincidence for curvilinear, multiple linear and multiple curvilinear regressions”. 3<sup>rd</sup> conference of the Advisory Group of Forest Statisticians, section 25, I.U.F.R.O, Jouy-en-Josas, France (1970).
- [5] - N. Decourt, “Comparison of regression equations. Use for cubing Norway Spruce stands”. *Ann. Sci. forest.*, série 1, vol. 28 (1971) 51-58.
- [6]- L. Poorter, F. Bongers, F.N. Kouamé et W.D. Hawthorne, “*Biodiversity of West African forests, an Ecological Atlas of Woody Plant Species*”, CABI Publishing, Cambridge, (2004).
- [7] - J.F. Dhôte, E. Hatsch et D. Rittié, “Forme de la tige, tarifs de cubage et ventilation de la production en volume chez le Chêne sessile”. *Ann. For. Sci.*, série 2, vol. 57 (2000) 121-142.
- [8] - R.G.D Steel, J.H. Torrie and D.A. Dickey, “*Principles and procedures of statistics: a biometrical approach*”, New York, McGraw Hill, (1996).
- [9] - R. F. Jeffrey, “Statistical power in forest monitoring”. *For. Ecol. Manage.*, série 1-3, vol. 151 (2001) 211-222
- [10]- R. Iaka and R. Gentleman, “A language for data analysis and graphics”. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 5 (1996) 299-314.
- [11]- R Development Core Team, 2011. R, “A language and environment for statistical computing”. *R Foundation for Statistical Computing*, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.