

Modélisation des distributions des paramètres dendrométriques d'une espèce ligneuse dominante en peuplement naturel

Houédougbé Noël FONTON*, Anthelme A. Prosper SAGBO

Centre de Biométrie et Informatique, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526 Cotonou, Bénin

(Reçu le 30 juin 2003 ; accepté le 3 mars 2004)

Résumé – Dans le présent article, nous présentons une approche de modélisation de la distribution des paramètres dendrométriques de l'espèce dominante en forêt naturelle au Bénin. Les données utilisées proviennent de l'inventaire de 314 placettes circulaires de 15 m de rayon échantillonnées dans des faciès à dominance *Isoberlinia* spp. des massifs forestiers Monts Kouffé, Wari-Marou et Ouémé Supérieur au Bénin. Pour chaque placette, les paramètres statistiques relatifs au diamètre d'*Isoberlinia*, tels que la moyenne, Dg , la variance, σ^2 , les coefficients de dissymétrie et d'aplatissement de Pearson, β_1 et β_2 , caractéristiques des familles de distribution sont déterminés et modélisés en fonction du degré de dominance et du diamètre quadratique moyen des tiges d'*Isoberlinia*. Avec les meilleurs modèles, les paramètres des peuplements théoriques sont ensuite estimés. Il ressort que la distribution des tiges est le type 1 suivant le système de Pearson. Des tables de distribution du nombre de tiges, de la surface terrière et du volume ont été simulées en fonction de la classe de grosseur et de la classe de dominance.

distribution / forêt naturelle / dominance / régression / Pearson

Abstract – Distributions modelling of dendrometrical parameters for dominant species in natural forest. In the present article, we present an approach of modelling the distribution of dendrometrical parameters from dominant species in natural forest. Data were collected on the inventory of 314 sample plots with 15 m of radius on stands with dominance of *Isoberlinia* spp. in three natural forests Monts Kouffé, Wari-Marou and Ouémé Supérieur in Benin. For each plots statistical parameters of *Isoberlinia* diameter as, m , σ^2 , β_1 and β_2 , characteristics of distributions families were determined and used to establish model according to the dominance level and diameter average of *Isoberlinia*. With the best models, the theoretical crops parameters are estimated. The result showed that the distribution of diameter was the type 1 according to Pearson system. Distributions tables of stems number, basal area and volume were simulated according to diameter and dominance class.

distribution / natural forest / dominance / regression / Pearson

1. INTRODUCTION

L'aménagement forestier est la planification et l'exécution d'actions destinées à assurer la conservation et l'utilisation d'une forêt en fonction d'objectifs (entre autres de production ligneuse) et du contexte physique et socio-économique. Si en plantation forestière on recourt à la table de production pour mener à bien ces actions, en forêts naturelles, les plans d'aménagement sont basés sur l'exploitation des arbres ayant atteint le diamètre de coupe ou en fonction du nombre d'arbres à prélever par coupe.

Les plans d'aménagement des forêts naturelles ont connu beaucoup d'évolution dans leur contexte afin de garantir une gestion durable. En effet, les massifs forestiers sont toujours soumis à une exploitation incontrôlée, notamment dans les pays africains non forestiers. Celle-ci conduit à l'appauvrissement

des formations en essences de valeur. S'y ajoutent, la mortalité sélective due à la baisse de la pluviométrie [7], les feux de brousse ne favorisant pas la régénération et la prolifération d'essences xérophytes [5].

Les politiques sectorielles mises en œuvre sont orientées vers l'élaboration des plans d'aménagement participatifs; lesquels plans d'aménagement doivent concilier les soucis de conservation et d'exploitation. Ceci nécessite la connaissance du potentiel ligneux et des bases de gestion. En effet, Akinsanmi et Akindélé [1] affirment que la gestion effective des ressources forestières requiert des collectes de données adéquates à travers des inventaires. De même, la connaissance [12] ou la prédiction [8] de la distribution des circonférences permet aux gestionnaires une meilleure planification des arbres à abattre.

Tout le monde s'accorde à dire que les bases techniques d'aménagement des peuplements monospécifiques sont scientifiquement

* Auteur pour correspondance: hnfonton@bj.refer.org

Tableau I. Caractéristiques dendrométriques des *Isoberlinia* spp. des placettes échantillonnées.

Paramètres	Moyenne	Minimum	Maximum	Coefficient de variation (%)
Degré de dominance (en %)	56,0	2,3	97,5	37
Nombre à l'hectare	258	28	1302	84
Surface terrière totale (en m ² /ha)	5,2	0,41	21,47	79
Surface terrière d' <i>Isoberlinia</i> (en m ² /ha)	3,22	0,11	14,13	81
Diamètre moyen (en cm)	31,2	11,1	57,1	27

éprouvées. Dans ces conditions, tenant compte du fait que dans les formations naturelles on rencontre des faciès avec dominance d'une espèce, il s'avère nécessaire d'orienter des études sur la construction de table similaire à la table de production afin de doter le gestionnaire d'un outil pour une gestion cohérente des ressources forestières. La première étape est la modélisation des distributions de paramètres dendrométriques qui fait l'objet de cette étude.

2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1. Matériel expérimental

Les peuplements à dominance *Isoberlinia* Craib and Stapf. sont typiques des forêts claires sèches d'Afrique [2, 9]. Ces faciès végétaux se retrouvent dans des forêts classées des Monts-Kouffés, Wari-Marô et Ouémé Supérieur en zone soudanienne au Bénin. Les *Isoberlinia*, jadis non exploités, sont devenus des substituts des bois de valeur tels que *Milicia excelsa*, *Khaya senegalensis*, *Pterocarpus erinaceus*, etc. tant au Bénin que dans la sous région.

Les données d'étude proviennent des inventaires dans les trois forêts. Les unités d'observation sont des placettes circulaires de 15 m de rayon choisies de manière aléatoire. Au total 314 placettes sont inventoriées dont 85 dans les Monts Kouffés, 141 à Wari-Marô et 88 dans l'Ouémé Supérieur. Les données dendrométriques prises au niveau des unités d'observations sont le diamètre à 1,30 m au-dessus du sol de tous les ligneux dont le diamètre est supérieur ou égal à 10 cm et la hauteur du fût ; cette dernière est mesurée pour une placette sur quatre. Dans le tableau I, sont présentées les principales caractéristiques dendrométriques concernant les *Isoberlinia* spp. des unités observées à savoir la densité et la surface terrière pour *Isoberlinia*, la surface terrière pour l'ensemble des tiges et le degré de dominance d'*Isoberlinia*. La dominance est définie comme la proportion en pourcentage de la surface terrière des tiges d'*Isoberlinia* par rapport à l'ensemble des tiges de la placette.

2.2. Modèle de distribution des grosseurs d'arbres

2.2.1. Détermination du modèle

Dans le système Pearson [4, 11], les familles de distributions sont décrites à partir des paramètres statistiques à savoir, la moyenne m , la variance σ^2 et les coefficients de dissymétrie et d'aplatissement de Pearson, β_1 et β_2 [11]. Pour chaque placette, ces différents paramètres relatifs aux diamètres des tiges d'*Isoberlinia* sont calculés. Le paramètre m représente la moyenne quadratique, notée Dg . Ensuite des modèles de régression multiple sont ajustés. Les variables expliquées sont σ^2 , β_1 et β_2 et les variables explicatives sont la dominance, notée DOM , et le Dg . Toutes ces variables ont subi aussi des transformations logarithmique à base e (sauf β_1 avec des valeurs proches de zéro) et

carré. Ainsi, 72 modèles sont établis dont 27 pour la prédiction σ^2 , 18 pour β_1 et 27 pour β_2 . Le choix du meilleur modèle est basé sur le coefficient de détermination (R^2) et l'écart-type résiduel, ($E.T.R.$).

À partir du meilleur modèle, les coefficients de dissymétrie et d'aplatissement sont estimés pour 7 classes de dominance à savoir inférieur à 20 %, de 20 à 29 %, de 30 à 39 %, de 40 à 49 %, de 50 à 59 %, de 60 à 69 % et enfin de 70 % et plus. Ensuite le type de distribution relatif à chaque classe de dominance est déterminé avec le paramètre k qui s'écrit [4] :

$$k = \frac{\beta_1(\beta_2 + 3)^2}{4(4\beta_2 - 3\beta_1)(2\beta_2 - 3\beta_1 - 6)}$$

2.3. Modèles de distribution des paramètres dendrométriques

Le type de distribution identifié, la fonction de densité de probabilité correspondante, $f(x)$, est déterminée en fonction du nombre de tiges, des paramètres de dispersion, $\hat{\sigma}$, et de forme $\hat{\beta}_1$ et $\hat{\beta}_2$ estimés pour chaque classe de dominance [6]. Pour chaque classe de dominance et pour chaque grosseur, la valeur de la fonction de densité de probabilité est déterminée de même que la distribution des tiges.

Disposant de la distribution des tiges, la surface terrière g par arbre est calculée. De même, le volume « fût arbre » est calculé avec la formule $v = ghf$. La hauteur, h , est estimée à partir de la relation entre la « hauteur du fût » et le diamètre, d . Ce modèle est établi à partir d'un échantillon de 223 sujets de *Isoberlinia* spp. Quatre modèles différents sont testés. Le choix de la meilleure équation est basée sur la comparaison des paramètres statistiques de validation relatifs aux écarts ou erreurs d'estimation [3]. Il s'agit des coefficients de détermination simple R^2 et ajusté R_{aj}^2 ; de la moyenne quadratique des résidus absolus S et de la moyenne des résidus relatifs S_r . Quant au coefficient de forme, f , il est de 0,49 [10].

3. RÉSULTATS

3.1. Modèles estimés

Les équations de régression les plus appropriées pour modéliser les différents paramètres des distributions sont :

$$\log e(\sigma) = -0,386 + 0,281 \log e(DOM) + 0,356 \log e(Dg)$$

$$R^2 = 0,124 \quad \text{et} \quad E.T.R. = 0,56 \quad P = 0,000$$

$$\beta_1 = -0,726 + 0,117 \log e(DOM) + 0,194 \log e(Dg)$$

$$R^2 = 0,035 \quad \text{et} \quad E.T.R. = 0,51 \quad P = 0,004$$

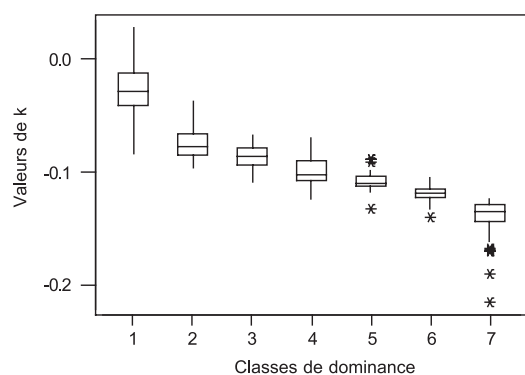
$$\log e(\beta_2) = 0,264 + 0,00875 DOM - 0,000187(Dg^2)$$

$$R^2 = 0,28 \quad \text{et} \quad E.T.R. = 0,29 \quad P = 0,000.$$

Tous les modèles prennent en compte la dominance (DOM) et le diamètre quadratique (Dg) et sont statistiquement significatifs pour une probabilité $P < 0,01$. Pour chaque classe de

Tableau II. Valeurs des paramètres des distributions théoriques pour différentes classes de dominance.

Classes de DOM (en %)	DOM moyen	Dg	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_1$	k
< 20	11,48	19,10	1,34	0,13	-0,03
20 à 29	25,15	28,26	1,40	0,30	-0,08
30 à 39	35,41	29,41	1,51	0,35	-0,09
40 à 49	44,97	32,52	1,58	0,39	-0,10
50 à 59	55,91	31,56	1,76	0,41	-0,11
60 à 69	65,23	33,13	1,88	0,44	-0,12
70 et plus	79,15	32,79	2,13	0,46	-0,14

**Figure 1.** Distribution des valeurs k des unités d'observations par niveau de dominance (1 = < 20 %, 2 = 20–29 %, 3 = 30–39 %, 4 = 40–49 %, 5 = 50–59 %, 6 = 60–69 %, 7 = > 69 %) (Boxplot).

dominance, la différence entre la valeur estimée de k, notée \hat{k} , à partir des modèles établis et la moyenne des valeurs de k calculées par placette est pratiquement nulle (0,3 à 3,2 % par rapport à k). Comme le montre la figure 1, la dispersion des k autour des valeurs moyennes mise en évidence avec le Boxplot est pratiquement faible. Ainsi, malgré les valeurs faibles de R^2 , la distribution, par classe de dominance, des valeurs de k calculées par placette, montre que les modèles choisis pour les différents paramètres de distribution théorique sont caractérisés par un pouvoir prédictif acceptable.

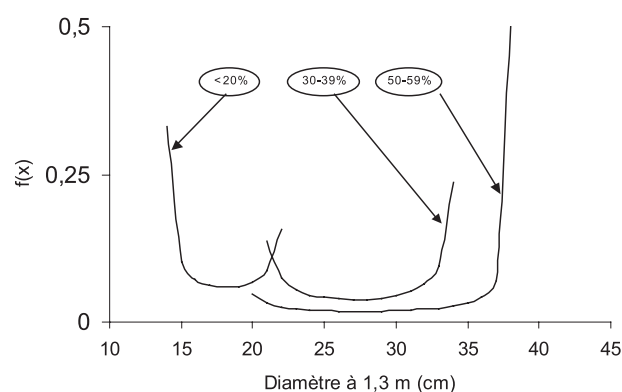
Comme le montre le tableau II, les valeurs estimées $\hat{\beta}_1$, $\hat{\beta}_2$ et \hat{k} permettent de conclure que les distributions des tiges d'*Isoberlinia* sont de type I quelle que soit la dominance car les valeurs de k sont négatives [4]. La fonction de densité de probabilité correspondante est [6] :

$$f(x) = y_e \left(1 + \frac{x}{a_1}\right)^{m_1} \left(1 - \frac{x}{a_2}\right)^{m_2} \quad (-a_1 < x < a_2)$$

avec :

$$y_e = \frac{N}{a_1 + a_2} \frac{(m_1 + 1)^{m_1} (m_2 + 1)^{m_2}}{(m_1 + m_2 + 2)^{(m_1 + m_2)}} \frac{\Gamma(m_1 + m_2 + 2)}{\Gamma(m_1 + 1)\Gamma(m_2 + 1)}$$

où N est le nombre total de pieds et $\Gamma(\cdot)$ est la fonction gamma. Comme le montre la figure 2, quelle que soit la dominance, les

**Figure 2.** Représentation graphique de la fonction de densité de probabilité de la distribution du nombre de pieds pour 3 classes de dominance (< 20 %, 30–39 % et 50–59 %).

distributions des tiges sont en U avec un déplacement progressif vers la droite en fonction de la classe de dominance.

S'agissant de la courbe de hauteur du fût, les résultats des ajustements de quatre différents modèles, traduisant l'évolution de la « hauteur fût » en fonction du diamètre, sont présentés dans le tableau III. La répartition graphique des résidus pour les différents modèles montre pratiquement une même allure pour tous les modèles à l'exception du modèle 2 qui a plus de résidus de signe positif. Toutefois, les modèles 2 et 3 apparaissent meilleurs que les autres en tenant compte de leur erreur résiduelle (2,67 m). Le modèle 2 possède deux variables explicatives tandis que le modèle 3 n'en possède qu'une. Dès lors, le modèle 3 est retenu pour estimer la « hauteur fût » en fonction du diamètre. La figure 3, mettant en évidence le nuage de points, et la droite de régression estimée révèle la meilleure qualité de l'ajustement.

3.2. Répartition des paramètres dendrométriques

La répartition des principaux paramètres dendrométriques en pour-cent est obtenue pour 7 classes de diamètre de 15 cm à plus de 40 cm par intervalle constant de 5 cm.

Les tables de distribution du nombre de tiges d'*Isoberlinia*, de la surface terrière et du volume par classe de diamètre sont présentées dans les tableaux IV, V et VI respectivement. Nous donnons un exemple de lecture de ces tableaux avec le plus faible

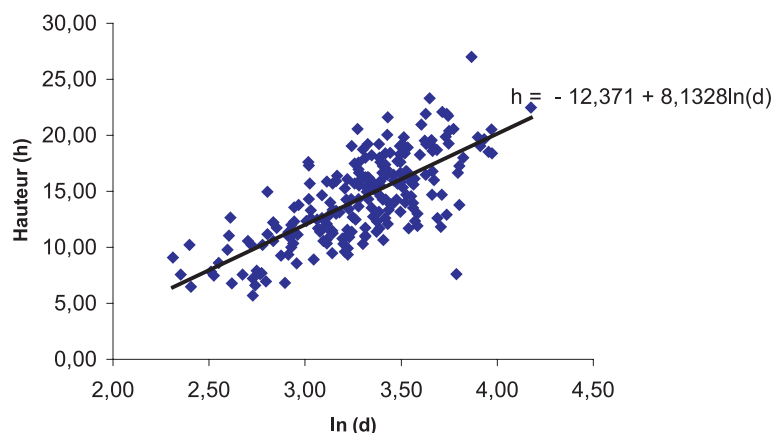


Figure 3. Nuage de points et représentation de la meilleure équation de la hauteur du fût (h) en fonction du diamètre (d) des tiges d'*Isobertinia*.

degré de dominance. Pour celui-ci, (dominance < 20 %), 33 % du nombre total de tiges appartiennent à la classe de grosseur < 15 cm, et au-delà de 40 cm le nombre est insignifiant (Tab. IV). En ce qui concerne la surface terrière, les 33 % de tiges représentent 21 % de la classe (Tab. V). De même pour le volume, nous avons 17 % (Tab. VI).

4. DISCUSSION

Les peuplements théoriques à dominance *Isobertinia* spp. sont modélisés à partir de la relation entre les paramètres des distributions théoriques et les caractéristiques des peuplements à savoir la dominance exprimée en surface terrière et le diamètre quadratique moyen. La dominance en surface terrière est préférée à la dominance de la densité en raison du fait qu'il s'agit de l'aménagement des peuplements naturels. En effet, la surface terrière renseigne mieux sur le potentiel ligneux et la possibilité des formations naturelles. Les relations établies montrent que la dominance et le diamètre sont tous deux nécessaires dans l'approximation du modèle "vrai" de la distribution des paramètres.

La connaissance de la distribution des diamètres d'un peuplement est d'un grand intérêt pour l'aménagement durable des massifs forestiers par l'évaluation des ressources immédiatement disponibles et la planification future des prélèvements.

Comme on peut s'y attendre, le modèle de type I est celui qui correspond le mieux à la répartition des diamètres et plus précisément la distribution en U. Les résultats obtenus montrent que pour un diamètre minimum exploitable de 35 cm, les classes de dominance inférieures à 40 % ne fournissent aucun pied. Lorsque le diamètre exploitable est de 40 cm, seules les classes de dominance supérieures à 60 % sont concernées.

Dans ce cas, le volume en bois d'*Isobertinia* qui peut être prélevé est de 35 % du volume total de la classe de dominance 60–69 % et de 46 % pour la classe > 70 %.

RÉFÉRENCES

- [1] Akinsanmi F.A., Akindélé S.O., Teak productivity in relation to soil conditions: A re-assessment of teak plantations in the dry high forest area of southwestern Nigeria, *Nig. J. For.* 24 (1995) 7–10.
- [2] Anonyme, Memento du forestier. Série techniques rurales en Afrique, 5^e éd., MCD, Paris, 1989, 894 p.
- [3] Cailliez F., Estimation des volumes et accroissements des peuplements forestiers, Vol. 1: Estimation des volumes, FAO FOREST, 1980, 98 p.
- [4] Dagnelie P., Statistique descriptive et bases de l'inférence statistique, De Boeck & Larcier, Bruxelles, 1998, 499 p.
- [5] Devineau J.L., Seasonal rhythms and phenological plasticity of savannah woody species in a follow farming system (southwest Burkina Faso), *J. Trop. Ecol.* 15 (1999) 497–513.
- [6] Elderton W.P., Johnson N.L., Systems of frequency curves, Cambridge, University Press, 1969, 216 p.
- [7] Ganaba S., Ouadba J.L., Bognounou O., Les ligneux à usage d'énergie en région sahélienne du Burkina Faso : Préférence des groupes ethniques, *Sécheresse* 9 (1998) 261–268.
- [8] Nanos N., Montero G., Spatial prediction of diameter distribution models, *For. Ecol. Manage.* 161 (2002) 147–158.
- [9] Normand D., Forêts et bois tropicaux, Presses universitaires, France, 1971, 126 p.
- [10] Openshaw K., Étude de base sur la teneur du carbone de la biomasse ligneuse et des sols de la zone d'intervention du PGFTR, Alternative Energy Development Inc., 2000, 96 p.
- [11] Pearson E.S., Hartley H.O., Biometrika tables for statisticians, Vol. 1, University Press, Cambridge, 1966, 264 p.
- [12] Tahar S., Rodolphe P., Répartition des arbres et des volumes par classes de grosseur dans les peuplements de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en Tunisie, *Ann. For. Sci.* 59 (2002) 293–300.