

Étude dendrométrique d'*Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth. en mélange sur vertisol au Bénin

Noël Houedougbe Fonton ⁽¹⁾, Romain Glele Kakai ⁽¹⁾, Jacques Rondeux ⁽²⁾

⁽¹⁾ Université nationale du Bénin. Faculté des Sciences agronomiques. B.P. 526 Cotonou (Bénin).

⁽²⁾ Unité de Gestion et Économie forestières. Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux. Passage des Déportés, 2. B-5030 Gembloux (Belgique). E-mail : rondeux.j@fsagx.ac.be.

Reçu le 23 septembre 2001, accepté le 9 novembre 2001.

Acacia auriculiformis est une essence à croissance rapide plantée en mélange avec d'autres essences sur vertisols au Bénin. Un inventaire de 11 peuplements âgés de 7 à 9 ans a été effectué en vue de déterminer divers paramètres dendrométriques relatifs à cette essence en mélange. Pour ceux-ci l'étude n'a révélé aucune différence statistiquement significative entre les associations d'essences au niveau 0,05 quels que soient l'âge des peuplements et la nature des associations. Néanmoins, les valeurs les plus élevées de diamètre du pied (portant un ou plusieurs arbres) de surface terrière moyenne sont observées pour les associations d'essences incluant *Leucaena leucocephala*. De plus, le volume branche des pieds d'*Acacia* diminue avec l'augmentation du nombre d'arbres par pied. Le tarif de cubage le plus approprié pour l'estimation des volumes des pieds est celui qui prend en compte le diamètre quadratique du pied et la hauteur totale. Par ailleurs, les associations d'essences n'ont aucun impact sur le profil des arbres qui reste constant d'une association à l'autre. L'estimation des coefficients d'empilage et d'exploitabilité met en évidence un volume enstéré équivalent à 144 % du volume réel.

Mots-clés. Dendrométrie, tarif de cubage, vertisol, *Acacia auriculiformis*, forêt mélangée, volume stère, Bénin.

Dendrometrical study of *Acacia auriculiformis* A. Cunn. in mixed stands on claysoils in Benin. *Acacia auriculiformis* is a fast growing species planted on vertisols in Benin. An inventory of 11 mixed stands of *Acacia*, which are 7 to 9 years old, has been realized to estimate growth parameters of the stands. The present study shows that, for the dendrometrical parameters, there is no difference between species associations at a 0.05 significance level. Nevertheless, the largest values of quadratic mean diameter of the stems foot are observed in the species associations including *Leucaena leucocephala*. Moreover, the branch volume decreases with the increasing of the number of stems per tree. The most appropriate volume function for *Acacia auriculiformis* is the one that takes into account the diameter of the stems foot and the total height. Otherwise, the species associations do not influence the profile of *Acacia* trees, which is constant within the associations. The predicted conversion and cutting coefficients show that the stacked wood volume represents about 144 % of the real stand volume.

Keywords. Forest mensuration, volume tables, vertisols, *Acacia auriculiformis*, mixed forests, stacked wood volume, Benin.

1. INTRODUCTION

Le bois de feu est toujours et pour longtemps encore le principal combustible utilisé pour la cuisson et la transformation des aliments. Selon la FAO (1997), deux milliards de personnes dans le monde dépendent du bois pour la cuisson de leurs aliments. Cette importante ressource énergétique n'est pas toujours disponible et pourrait même être compromise à long terme sans une politique résolument tournée vers la gestion durable et la sauvegarde des écosystèmes. En effet, la demande de bois de feu et de charbon de bois explique largement la disparition de millions d'hectares de forêts tous les ans.

Cette évolution, mise en exergue depuis une décennie, a justifié le financement de projets portant sur les plantations de bois de feu dans plusieurs pays, en particulier africains. Au Bénin, ces plantations, sujettes à une forte pression anthropique, sont installées dans des forêts classées dont celle de la Lama. Les différentes essences plantées sont *Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth., *Cassia siamea* Lam., *Gmelina arborea* Roxb., *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss., *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, *Tectona grandis* L. et *Terminalia superba* Engl. & Diels.

Pour garantir, d'une part, une meilleure résistance aux dangers et ennemis (abiotiques et biotiques) et, d'autre part, pour tirer un meilleur parti du sol, les

différentes essences forestières sont plantées en association, le plus souvent avec *Acacia auriculiformis*. La capacité de production très élevée de cette dernière en peuplement pur fait d'elle une référence dans le Sud-Bénin pour pallier, de manière durable, la pénurie en bois de feu (Fonton *et al.*, 2000).

Les études dendrométriques relatives à *Acacia auriculiformis* sont utiles à plus d'un titre :

- l'essence n'a fait l'objet d'aucune étude portant sur les caractéristiques dendrométriques dans le cas de mélanges avec d'autres essences sur des sols aussi particuliers que les vertisols ;
- les pieds d'*Acacia* sont fréquemment bas-branchus et multi-tiges, l'interprétation de certains paramètres dendrométriques demande de ce fait plus d'attention ;
- lors de la coupe définitive, l'abattage des pieds d'*Acacia* est réalisé à la hache à 60 cm du sol ce qui conduit à une perte non négligeable de volume et justifie de mieux connaître le volume enstéré des plantations.

La présente étude vise à décrire les principales caractéristiques dendrométriques et à établir des tarifs de cubage concernant les arbres individuels et les pieds¹ d'*Acacia auriculiformis* planté en mélange avec d'autres essences forestières sur du vertisol (**Figure 1**). Elle doit aussi permettre de tenter d'appréhender l'impact du type de mélange sur la production ligneuse et sur la morphologie des tiges d'*Acacia*.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODE

2.1. Milieu d'étude

La forêt classée de la Lama couvre une superficie de 16 250 hectares et est localisée dans la partie sud de la République du Bénin. Elle se situe entre 6°55' et 7°00' de latitude nord et entre 2°04' et 2°12' de longitude est. L'étude a été conduite dans la partie sud sur des peuplements mélangés à base d'*Acacia auriculiformis* couvrant une superficie totale de 2 371 ha de cette forêt (**Figure 2**).

La zone d'étude est caractérisée par un climat de type guinéen bimodal avec une pluviosité moyenne annuelle de 1120 mm et une température moyenne annuelle de 27–28 °C. L'humidité relative moyenne est élevée et est de l'ordre de 80–90 %. Les sols de la forêt classée de la Lama sont des vertisols de texture argilo-sableuse comportant une forte teneur en matière organique sur une profondeur de 1,0 m à 1,2 m. L'argile constituante est la montmorillonite (argile



Figure 1. Exemple de peuplement mélangé comportant *Acacia auriculiformis* et *Gmelina arborea* (trunks plus clairs à l'avant-plan) — *Mixed stand including Acacia auriculiformis and Gmelina arborea (clearer stems in the foreground).*



Figure 2. Localisation de la forêt classée de la Lama au Bénin — *Localisation of “La Lama” forest in Benin.*

¹Pour éviter toute confusion, par pied nous entendons le support d'un ensemble d'arbres, eux-mêmes constitués de tiges comportant des branches, et implantés sur un billon de base commun.

gonflante). Ce sont des sols fertiles mais qui, en raison de leurs propriétés physiques, sont difficiles à cultiver.

La végétation naturelle relève de la variante sèche de la forêt dense semi-décidue, pauvre en espèces. Les espèces ligneuses les plus rencontrées sont : *Bombax buonopozense* P. Beauv., *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn., *Dialium guineense* Wild, *Diospyros mespiliformis* Hochst., *Drypetes floribunda* (Muell. Arg.) Hutch., *Sorindeia warneckei* Engl., etc.

2.2. Description des peuplements-échantillons

Le choix des peuplements a été réalisé en tenant compte d'éléments tels que l'âge, l'accroissement moyen annuel en volume et la densité exprimée en nombre de pieds d'*Acacia auriculiformis* à l'hectare. Pour garantir une représentation la plus fidèle possible de la variabilité observée de ces différents critères, 38 peuplements ont été répertoriés qui se répartissent comme suit : 8 sont âgés de 7 ans, 22 de 8 ans et 8 de 9 ans. Ils sont caractérisés par des densités allant de 200 à plus de 600 pieds d'*Acacia auriculiformis* à l'hectare, avec une forte représentation comprise entre 400 et 600 pieds/ha.

Des études exploratoires d'accroissement effectuées sur le site étudié font ressortir des valeurs moyennes annuelles en volume pouvant atteindre 9 m³/ha, les mieux représentées variant entre 2,3 et 4,5 m³/ha.

Parmi ces 38 peuplements comportant *Acacia*, 11 ont ensuite été sélectionnés de sorte que tous les mélanges soient convenablement représentés. Le **tableau 1** fournit leurs principales caractéristiques

Tableau 1. Caractéristiques des peuplements-échantillons — *Main characteristics of the sampled stands.*

Peuple- ment	Âge (ans)	Nbre de pla- cettes	Essences forestières présentes ⁽¹⁾	Type de mé- lange	Densité en pieds d' <i>Acacia</i> (par ha)	Accrois- sement moyen annuel (m ³ /ha/an)
92/04	7	5	Aa+Cs+Tg	1/3	333	2,5
92/22	7	2	Aa+Cs+Ga	1/3	546	3,5
91/02	8	4	Aa+Ts	1/3	508	3,1
91/03	8	5	Aa+Ga+Ll	1/3	353	2,4
91/05	8	3	Aa+Tg	1/3	743	4,9
91/16	8	4	Aa+Cs+Ga+Ts	1/3	523	2,7
91/17	8	4	Aa+Tg+Ts	1/3	455	2,7
91/22	8	5	Aa+Cs+Ga	1/3	294	1,8
90/03	9	6	Aa+Ll+Tg	MPP	97	1,3
90/07	9	3	Aa+Ts	1/2	600	3,2
90/09	9	3	Aa+Ks	MPP	764	8,2

(1) Aa = *Acacia auriculiformis* ; Ga = *Gmelina arborea* ; Ks = *Khaya senegalensis* ; Tg = *Tectona grandis* ; Ts = *Terminalia superba* ; Ll = *Leucaena leucocephala* ; Cs = *Cassia siamea*.

(âge, essences présentes et type de mélange, densité et accroissement moyen en volume), ainsi que le nombre de placettes ayant permis de réaliser les mesures.

La provenance d'*Acacia auriculiformis* utilisée est Lilikopé. Les essences associées sont des essences ayant une vocation de bois d'œuvre telles que *Gmelina arborea*, *Khaya senegalensis*, *Tectona grandis*, *Terminalia superba* et des essences de bois de feu telles que *Leucaena leucocephala*, *Cassia siamea*. Les différents mélanges se caractérisent par une ligne d'essences de bois d'œuvre pour deux ou trois lignes d'essences de bois de feu, notés respectivement 1/2 ou 1/3. Il existe également des peuplements d'essences mélangées pied par pied, notés MPP.

2.3. Détermination des principaux paramètres dendrométriques

Les paramètres dendrométriques d'*Acacia auriculiformis* ont été déterminés à partir de l'inventaire de 44 placettes circulaires de 400 m² réparties au sein des 11 peuplements-échantillons à raison de 3 à 6 placettes par peuplement selon les cas. Les diamètres à 1,3 m au-dessus du niveau du sol ont été mesurés au compas et sont représentés par le symbole d_{ij} dans lequel j ($j=1, \dots, q$) est l'indice de l'arbre du pied i ($i=1, \dots, p$) de la placette.

Sur chaque placette, tous les pieds (p) et tous les arbres (a) ont été identifiés, ce qui a permis de calculer les paramètres dendrométriques suivants :

- le nombre moyen d'arbres par pied n_{ap}

$$n_{ap} = \frac{n_a}{n_p} ;$$

- le diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne d_{ga}

$$d_{ga} = \sqrt{\frac{1}{n_a} \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q d_{ij}^2} ;$$

- le diamètre du pied de surface terrière moyenne d_{gp}

$$d_{gp} = \sqrt{\frac{1}{n_p} \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q d_{ij}^2} .$$

La hauteur totale des arbres a été mesurée à l'aide du dendromètre Blume-Leiss. La hauteur dominante des pieds correspond à la moyenne arithmétique des hauteurs totales des arbres les plus hauts appartenant aux 4 plus gros pieds de la placette (identifiés *via* le diamètre correspondant à une surface terrière globale résultant de la somme des surfaces terrières individuelles des arbres composant les pieds). Quant à la

hauteur dominante des arbres, elle équivaut à la moyenne des hauteurs totales des 4 plus gros arbres de la placette, abstraction faite des pieds auxquels ils appartiennent.

2.4. Caractérisation du profil des arbres

Le profil des arbres a été exprimé *via* une équation de défilement dont la construction a nécessité des mesures de diamètre réalisées à différents niveaux de la tige sur 190 arbres-échantillons abattus et provenant de 118 pieds. Ces arbres ont été regroupés en 5 classes de diamètre de 6 cm d’amplitude, afin de disposer d’un nombre suffisant d’individus par classe. L’équation de défilement a été établie par classe de diamètre à 1,3 m du sol et par mélange d’essences à partir du modèle de Riniker (Tarp-Johansen *et al.*,1997). Elle s’écrit sous la forme :

$$d_i^2 = 4p (h - h_i)^r$$

avec

- d_i = diamètre de l’arbre à un niveau donné h_i au-dessus du niveau du sol ;
- h = hauteur totale de l’arbre ;
- r et p = constantes strictement positives (r est l’exposant de forme et p est liée au défilement ou décroissance métrique de l’arbre exprimée en cm/m).

Afin de faciliter l’estimation des paramètres, le modèle de Riniker a été linéarisé *via* la transformation logarithmique suivante :

$$\ln (d_i^2) = \ln (4p) + r \ln (h - h_i),$$

expression au sein de laquelle r et $\ln(4p)$, qui représentent respectivement le coefficient de régression et l’ordonnée à l’origine, ont été estimés par la méthode des moindres carrés, l’ajustement étant réalisé sur l’ensemble des couples (d_i, h_i) .

Les deux paramètres r et p ont été aussi calculés en regroupant, d’une part, les arbres par associations d’essences et, d’autre part, par classes de diamètre. Ces associations sont : *Acacia* et *Khaya* ; *Acacia* et *Tectona* ; *Acacia* et *Terminalia* ; *Acacia*, *Gmelina* et *Leucaena*.

2.5. Établissement des équations de cubage

Pour l’établissement des tarifs de cubage, les 190 arbres abattus ont été pris en compte. Les pieds ont été coupés à 10 cm du sol et les arbres d’un même pied ont été cubés indépendamment les uns des autres suivant le protocole de cubage schématisé à la **figure 3**.

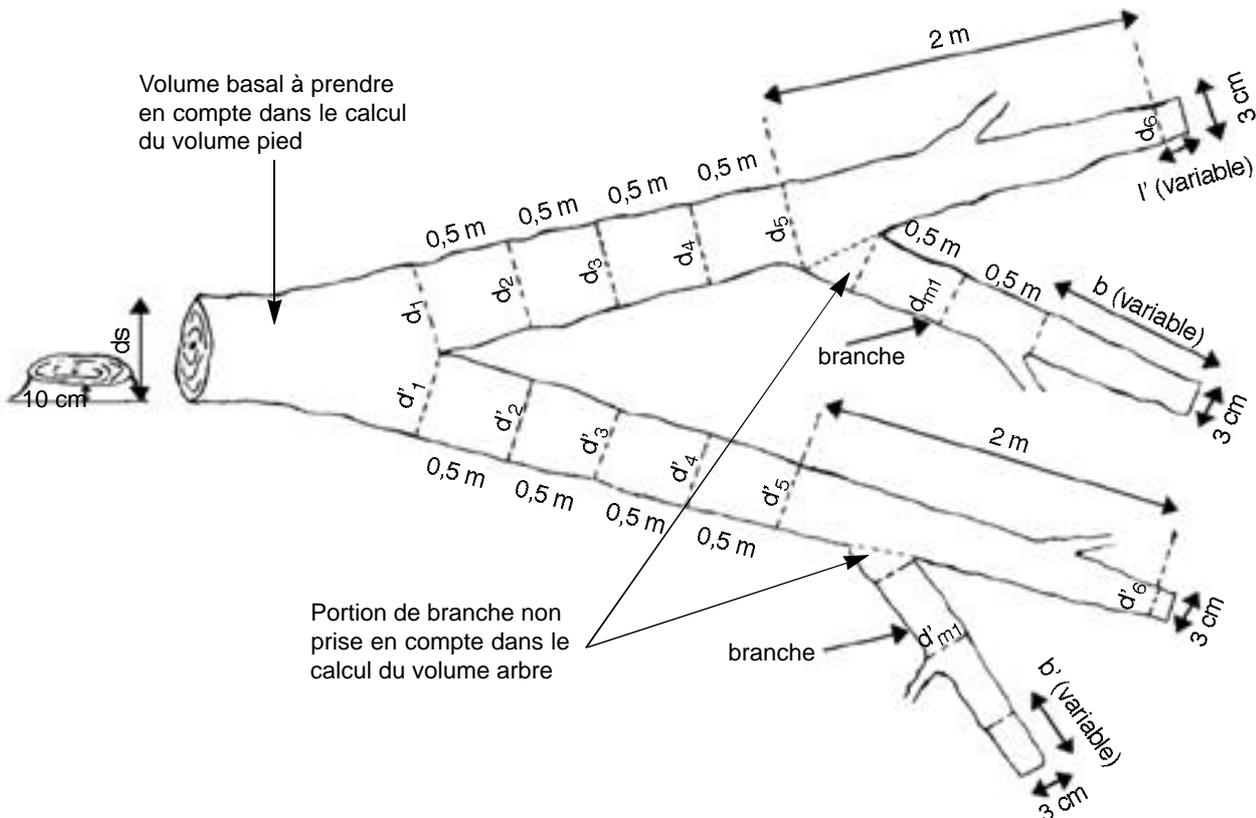


Figure 3. Découpes et mensurations effectuées sur les arbres d’un pied (cas d’un pied à deux arbres) — *Protocol of measurements for the volume determination of a tree made up of 2 stems.*

Ainsi, pour chaque tige d'arbre, les 2 premiers mètres ont été débités en billons de 0,5 m, la longueur des billons a ensuite été portée à 2 m jusqu'à la découpe fin bout de 3 cm de diamètre. Le volume tige V_t de chaque arbre a été déterminé au moyen de la formule de Smalian

$$V_t = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n l_i \frac{d_{1i}^2 + d_{2i}^2}{2}$$

dans laquelle

- d_{1i} et d_{2i} = diamètres des deux extrémités du billon i
- l_i = longueur du billon i
- n = nombre de billons.

Quant aux branches, elles ont été débitées en billons de 1 m de long jusqu'à la découpe fin bout de 3 cm de diamètre. Leur volume V_b a ensuite été déterminé par la formule de Huber

$$V_b = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^m b_i d_i^2$$

dans laquelle

- d_i = diamètre à mi-longueur du billon i
- b_i = longueur du billon en principe égale à 1 m mais pouvant prendre une valeur différente pour les billons de fin bout
- m = nombre total de billons de branches considérés.

Il s'avère qu'une portion de branche n'est pas prise en compte dans le calcul des volumes par le fait que la mesure du diamètre à la base de chaque branche est effectuée perpendiculairement à l'axe de celle-ci. C'est en vue de compenser cette légère perte en volume que la formule de Smalian, qui surestime le volume réel (Rondeux, 1999), a été utilisée pour le cubage des tiges.

Comme le montre la **figure 3**, pour un pied multicaule, il existe une portion située sous le niveau d'insertion des arbres. Le volume de cette portion V_s , dénommé volume basal, a également été déterminé *via* la formule de Smalian. Il en résulte que le volume arbre V_a est la somme du volume tige V_t et du volume V_b des branches insérées sur la tige. Le volume pied V_p correspond dès lors à la somme du (des) volume(s) V_{aj} ($j = 1$ pour un seul arbre par pied) du pied et du volume basal V_s ; ce dernier étant nul pour un pied unicaule. On écrira donc, pour chaque arbre j d'un même pied

$$V_a = V_t + V_b$$

et

$$V_p = \sum_{j=1}^q V_{aj} + V_s .$$

L'examen des nuages de points traduisant la dispersion des données de volume arbre et de volume pied en fonction des paramètres dendrométriques comme la hauteur totale et le diamètre a guidé le choix d'équations de cubage de la forme suivante :

$$V = b_0 + b_1 d$$

$$V = b_0 + b_1 d + b_2 d^2$$

$$\log(V) = b_0 + b_1 \log(d)$$

$$V = b_0 + b_1 d^2 h$$

dans lesquelles

- d = diamètre de l'arbre à 1,3 m au-dessus du niveau du sol pour le volume arbre ou le diamètre moyen quadratique des arbres du pied pour le volume pied (issu de la somme des surfaces des sections à 1,3 m, assimilée à une surface terrière "fictive") ,
- b_0 , b_1 et b_2 = coefficients de régression.

L'analyse des résidus en fonction des diamètres à 1,3 m n'a révélé aucune tendance justifiant le recours à des régressions pondérées.

Le choix du modèle le plus approprié a été opéré à partir des paramètres statistiques suivants : le coefficient de détermination (R^2), l'écart-type résiduel (*ECTR*) ou l'indice de Furnival (*I*) pour le modèle logarithmique (Rondeux, 1999), la moyenne quadratique des résidus absolus

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

et la moyenne quadratique des résidus relatifs

$$S_r = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{y_i}}$$

Pour estimer le volume pied de manière plus précise, une autre procédure a été utilisée. Elle résulte de la sommation des volumes des arbres du pied estimés par la meilleure équation d'estimation du volume arbre à laquelle on ajoute le volume basal (V_s). L'erreur quadratique moyenne a été utilisée comme critère de comparaison des modèles d'estimation du volume pied.

Pour définir le domaine de validité du tarif à deux entrées utilisant la hauteur et le diamètre, nous avons tenu compte de la relation unissant ces deux variables. Trois modèles ont été ajustés sur la base des données de hauteur-diamètre des 118 pieds, à savoir :

$$h = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 \quad (\text{Modèle de Torey})$$

$$\log(h) = b_0 + b_1 \log(d) \quad (\text{Modèle de Stoffels et Van Soest})$$

$$h = b_0 + b_1 \log(d) \quad (\text{Modèle de Hendricksen}).$$

Le domaine de validité a été défini à partir de l'expression suivante

$$f(d) \pm 3 \hat{\sigma}_r$$

où $f(d)$ est l'estimation de la hauteur en fonction du diamètre à 1,30 m et $\hat{\sigma}_r$ l'écart-type résiduel du modèle retenu.

2.6. Détermination des coefficients d'exploitabilité et d'empilage

Le coefficient d'exploitabilité est le rapport entre le volume exploitable (faisant généralement l'objet de l'exploitation) et le volume réel. Ce coefficient a été estimé à partir de 9 pieds d'*Acacia* issus de toutes les classes de diamètres établies à partir de l'inventaire des peuplements. Pour chaque pied coupé à 10 cm du sol, des mesures de circonférence ont été effectuées suivant le protocole de cubage décrit ci-avant, ce qui a permis la détermination du volume réel du pied. Tenant compte de l'exploitation à la hache, les mêmes pieds ont ensuite été cubés à partir de 60 cm de la base du tronc.

Le coefficient d'exploitabilité (C_p) est calculé via la formule

$$C_p = \frac{V_e}{V_r}$$

dans laquelle

- V_e est le volume exploitable du pied et V_r son volume réel fourni par un tarif de cubage.

Quant au coefficient d'empilage k il a été estimé à partir de 9 stères. Les diamètres gros-bout et petit-bout des billons de chacun de ceux-ci ont permis de déterminer le volume de chaque billon par la formule de Smalian (Rondeux, 1999).

Le coefficient d'empilage k est estimé via la formule

$$k = \frac{V_e}{V_s}$$

dans laquelle

- V_e = volume total (m³) des billons composant le stère, et correspondant au volume exploitable ;
- V_s = volume empilé (stères).

Sachant que

$$V_e = C_p * V_r \quad ,$$

le volume exploité mis en stère (empilé) fournit un volume V_{es} appelé volume stère, que l'on peut déduire du calcul du coefficient d'empilage, soit :

$$V_{es} = V_e / k$$

d'où il vient aussi que

$$V_{es} = \frac{C_p}{k} V_r$$

Le coefficient C_p/k , que nous appellerons coefficient du volume stère, est le rapport entre le volume empilé et le volume réel. Il correspond au nombre de m³ de bois empilé pour 1 m³ de volume réel.

3. RÉSULTATS

3.1. Caractéristiques dendrométriques des peuplements

Le nombre d'arbres par pied varie de 1 à 5. Ainsi, 56,8 % des pieds comportent un seul arbre, tandis que 31,3 %, 6,8 %, 3,4 % et 1,7 % des pieds portent respectivement 2, 3, 4 et 5 arbres. Ce nombre d'arbres par pied est statistiquement lié à la nature de l'association d'essences. On observe en moyenne 1,3 arbre par pied pour l'association *Aa+Ll+Ga* tandis qu'il est de 1,7 pour l'association *Aa+Cs+Ga*.

Le diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne, d_{ga} , le plus élevé est en moyenne de 12,4 cm et concerne l'association *Aa+Ll+Ga*. Le diamètre pied varie entre 11,3 cm et 22,5 cm. Quant à la hauteur dominante, elle se situe entre les mêmes valeurs, qu'il s'agisse des arbres (14,1 à 17,8 m) ou des pieds (14,1 à 17,7 m).

Ces différents paramètres dendrométriques ont été comparés afin de tester l'effet de l'âge des peuplements. Pour les hauteurs, aucune différence significative entre les âges n'a été mise en évidence. Par contre, pour les diamètres pied et arbre, les âges déterminent des différences significatives au seuil de 1 %. Les peuplements de 9 ans se différencient de ceux de 7 et 8 ans qui forment un groupe homogène.

En ce qui concerne l'effet des associations d'essences, il ressort, quel que soit l'âge, que les différences entre les associations, considérées âge par âge, sont statistiquement non significatives, au niveau 5 %, tant pour les diamètres que pour les hauteurs dominantes pied et arbre. Toutefois, le diamètre pied le plus élevé se trouve dans les associations comportant le *Leucaena leucocephala*.

Le volume des pieds varie de 6 à 622 dm³. Pour les pieds multicaules, le volume basal est en moyenne de 18,8 ; 20,9 et 30,9 dm³ respectivement pour 2, 3 et 4 arbres par pied. Comme le montre le **tableau 2**, ces volumes, exprimés en proportion du volume total pied, représentent 10,4 % pour 2 arbres par pied, 12,4 % pour 3 arbres par pied et 14,6 % pour 4 arbres par pied. Par contre, il ressort que le volume branche diminue lorsque le nombre d'arbres par pied augmente. En effet, le volume branche correspond à 19,3 ; 16,3 et 9,4 % du volume total par pied, respectivement pour 2, 3 et 4 arbres (**Tableau 2**).

Tableau 2. Importance, en pourcentage, des volumes basal et branche en fonction du nombre d'arbres par pied, par rapport au volume total du pied V_p — *Volume from the soil to the insertion level of stems (V_s) and volume of branches in % of the total volume of butts V_p (V_s + volume of stems V_i and branches V_b).*

Type de volume (en % volume pied)	Nombre d'arbres par pied		
	2	3	4
Volume basal (V_s)	10,4	12,4	14,6
Volume branche (V_b)	19,3	16,3	9,4

3.2. Profil de l'arbre

L'équation générale présentée au paragraphe 2.4 a donné lieu au résultat suivant :

$$d_i^2 = 3,19 (h - h_i)^{1,44}$$

On déduit de cette équation que les arbres d'*Acacia* perdent globalement en moyenne, de la base au sommet, environ 0,8 cm ($p = 3,19/4$) de diamètre par mètre courant avec une valeur de r égale à 1,44 en moyenne.

Ces paramètres ont été calculés pour chacune des associations d'essences, par hauteur et par classe de grosseur. Il ressort que les associations n'ont aucun effet sur les paramètres r et p . Il en est de même pour les différentes hauteurs. Quant aux classes de grosseur, il s'avère que les arbres les plus petits se caractérisent par une faible valeur de r . Ainsi, comme le montre le **tableau 3**, ce paramètre de forme est en moyenne de 1,4 cm pour les diamètres inférieurs à 15 cm et de 1,7

Tableau 3. Valeurs moyennes des paramètres r et p avec leurs écarts-types (en italiques et entre parenthèses) — *Mean values of parameters r and p (standard deviations are given in italics and between brackets).*

Classe de diamètre des arbres (cm)	r	p (cm/m)
3 à 5,9	1,11 (0,20)	0,9 (0,3)
6 à 8,9	1,11 (0,20)	0,8 (0,4)
9 à 11,9	1,46 (0,24)	0,8 (0,4)
12 à 14,9	1,46 (0,18)	1,1 (0,4)
15 à 17,9	1,71 (0,17)	0,7 (0,3)

au-delà de 15 cm de diamètre à 1,3 m du sol. Le défilement est de 0,7 cm/m à 1,1 cm/m.

3.3. Équations de cubage

Les différentes équations de cubage des arbres et des pieds sont présentées au **tableau 4**. Pour le cubage des pieds, le modèle 2 qui s'écrit

$$V_p = 0,00259 + 0,407 d_p^2 h_p$$

apparaît plus précis que les autres avec un écart-type résiduel de 30,2 dm³ et des moyennes quadratiques des résidus absolus et relatifs respectivement égales à 29,9 dm³ et 23,8 %.

Quant à l'estimation du volume arbre, le modèle 4 donne lieu au meilleur ajustement. Il s'écrit :

$$\log V_a = 1,37 + 2,65 \log (d_a)$$

Ce volume, ajouté au volume basal, permet de déterminer le volume pied. La comparaison par

Tableau 4. Équations de cubage arbre et pied et paramètres de comparaison des modèles : V_a et V_p en m³; h_a , d_a , h_p et d_p en m — *Volume equations for tree and butt and statistical parameters of comparison of models (V_a and V_p in m³, h_a , d_a , h_p and d_p in m).*

Équations de cubage	R^2 (%)	ECTR (dm ³) ou (l)*	S (dm ³)	Sr (%)
Cubage arbre				
1 $V_a = -0,0205 + 7,92 d_a^2$	93,4	23,51	23,36	176,56
2 $V_a = -0,00001 + 0,436 d_a^2 h_a$	93,4	23,36	23,24	25,20
3 $V_a = -0,003 - 0,297 d_a + 9,01 d_a^2$	93,4	23,37	23,12	88,00
4 $\log (V_a) = 1,37 + 2,65 \log (d_a)$	95,7	13,88*	25,00	26,25
Cubage pied				
1 $V_p = -0,0178 + 7,12 d_p^2$	92,2	34,99	34,69	59,12
2 $V_p = 0,00259 + 0,407 d_p^2 h_p$	94,2	30,24	29,98	23,78
3 $V_p = 0,0033 - 0,309 d_p + 8,1 d_p^2$	92,3	34,98	34,54	24,44
4 $\log (V_p) = 1,08 + 2,38 \log (d_p)$	93,1	22,31*	35,10	26,12

* valeur correspondant à l'indice de Furnival (Rondeux, 1999).

rapport au volume réel fait ressortir des moyennes quadratiques des résidus S_r de 29,8 dm³ et de 43,1 dm³ respectivement pour le tarif pied et le tarif arbre. L'estimation du volume des pieds à partir du tarif de cubage pied apparaît donc comme étant le plus précis. Ce tarif a été utilisé pour la construction d'une table de cubage (**Tableau 5**).

La relation qui permet d'exprimer le mieux la hauteur pied en fonction du diamètre pied est :

$$h_p = 28,10 + 15,3 \log (d_p)$$

avec un écart-type résiduel de 1,2 m. Elle est utilisée pour fixer le domaine de validité du tarif délimité par les chiffres en gras du **tableau 5**.

3.4. Coefficients d'exploitabilité et d'empilage

Le coefficient d'exploitabilité moyen des pieds d'*Acacia auriculiformis* est de 0,75 avec un coefficient de variation de 12 %, ce qui signifie qu'en moyenne, 25 % du volume réel d'un pied est perdu lors de l'exploitation. Quant au coefficient d'empilage, il est de 0,52 et le coefficient de variation associé est de 10 % ; ce qui signifie concrètement qu'un stère de cette essence correspond en moyenne à 0,52 m³ ± 0,1 m³ au degré de confiance de 0,95.

4. DISCUSSION ET CONCLUSION

Le nombre moyen d'arbres par pied varie entre 1,3 et 1,8 et se situe bien dans la gamme de valeurs obtenues

par Lejeune et Rondeux (1994), Bulgannawar et Math (1991), Minquan et Yutian (1991), Kha et Nghia (1991) qui mentionnaient respectivement des nombres allant de 1,1 à 1,3 ; de 1 à 1,8 ; de 1 à 1,4 et de 1 à 1,6. Quant au diamètre de surface terrière moyenne, il varie entre 11,3 cm et 14,2 cm pour le diamètre pied et entre 9,5 et 12,4 cm pour le diamètre arbre. Ces valeurs sont en dessous de celles rapportées par Minquan et Yutian (1991) qui ont observé un diamètre pied moyen de 14,9 cm pour les arbres de 8 ans et 13,8 cm pour ceux de 6 ans dans une région à climat subtropical de 21,8 °C de température et une pluviométrie annuelle de 1900 mm. Par contre, les valeurs notées dans la présente étude semblent être plus élevées que celles observées par Kushalapa (1991) sur les arbres de 10 ans à Badami (Inde) à savoir : 11 cm de diamètre moyen du pied sous une pluviométrie de 750 mm. Ces différents résultats révèlent l'influence du climat et plus spécifiquement celle de la pluviométrie sur la croissance en diamètre des arbres d'*Acacia auriculiformis*.

Les hauteurs dominantes observées dans la présente étude sont similaires à celles obtenues par Vietmeyer (1978) et NAS (1979) qui ont trouvé tous deux une hauteur dominante de 17 m pour des pieds de *Acacia* de 8 ans. Par ailleurs, on note que les hauteurs dominantes n'évoluent pas avec l'âge des peuplements (gamme de 7 à 9 ans) et que les arbres atteignent une taille maximale d'environ 17 m à 7 ans.

Le profil des arbres d'*Acacia auriculiformis* est décrit au moyen d'une équation de défilement présentant une valeur moyenne de 0,8 cm/m. Quant au paramètre de forme r , les valeurs obtenues font

Tableau 5. Table de cubage "pied" d'*Acacia auriculiformis*, V_p en dm³ — Volume table for the butts of *Acacia auriculiformis*, V_p in dm³.

Hauteur (m)	Diamètre pied (cm)										
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33
5	1,8	7,3	16,5	29,3	45,8	66,0	89,8	117,3	148,5	183,3	221,8
6	2,2	8,8	19,8	35,2	55,0	79,2	107,7	140,8	178,2	220,0	266,2
7	2,6	10,3	23,1	41,1	64,2	92,4	125,7	164,2	207,9	256,6	310,8
8	2,9	11,7	26,4	46,9	73,3	109,6	143,7	187,7	237,6	293,3	354,9
9	3,3	13,2	29,7	52,8	82,5	110,8	161,7	211,2	267,3	330,0	399,3
10	3,6	14,7	32,9	58,7	91,6	132,0	179,6	234,6	297,0	366,6	443,6
11	4,0	16,1	36,3	64,5	100,8	145,2	197,6	258,1	326,7	403,3	488,0
12	4,4	17,6	39,6	70,4	110,0	158,4	215,6	281,6	356,4	439,9	532,3
13	4,8	19,1	42,9	76,3	119,1	171,6	233,5	305,0	386,1	476,6	576,7
14	5,1	20,5	46,2	82,1	128,3	184,8	251,5	328,5	415,8	513,3	621,1
15	5,5	22,0	49,5	88,0	137,5	198,0	269,5	352,0	445,4	549,9	665,4
16	5,9	23,5	52,8	93,8	146,6	211,2	287,4	375,4	475,1	586,6	709,7
17	6,2	24,9	56,1	99,7	155,8	224,4	305,4	398,9	504,8	623,3	754,1
18	6,6	26,3	59,4	105,6	165,0	237,6	323,4	422,3	534,5	659,9	798,5
19	6,9	27,8	62,7	111,4	174,1	250,8	341,3	445,8	564,2	696,6	842,9
20	7,3	29,3	65,9	117,3	183,3	263,9	359,3	469,3	593,9	733,3	887,3

ressortir que la tige a la forme d'un cône pour les petits diamètres pour tendre vers celle d'un néloïde pour les gros diamètres, constatation confirmée, sur un plan plus général, par Philip (1994). En général, le profil d'*Acacia* ne semble pas varier en fonction des associations d'essences au regard des résultats d'analyses de variance effectuées sur les paramètres r et p de l'équation de défilement. Ceci montre que la compétition interspécifique engendrée par la présence dans les peuplements de plusieurs essences, n'a pas modifié le profil d'*Acacia* qui est demeuré plus ou moins constant quel que soit le mélange d'essences considéré.

Le volume exploitable d'un pied d'*A. auriculiformis* correspond en moyenne à 75 % de son volume réel. Or, le coefficient d'empilage révèle qu'un stère de la même essence contient en réalité 0,52 m³ de bois. On peut dès lors déduire que le volume enstéré d'*A. auriculiformis* est de l'ordre de 144 % du volume réel.

Au terme de la présente étude, il est important de noter que la plupart des paramètres dendrométriques d'*A. auriculiformis* ne sont pas influencés par le type de mélanges des essences, si ce n'est le développement des pieds, favorisé par la présence de *Leucaena leucocephala* dans certains mélanges. De plus, les peuplements étudiés semblent atteindre leur âge d'exploitabilité à 7 ans.

Remerciements

Les auteurs remercient le Centre International pour la Recherche agroforestière et le Conseil inter-universitaire de la Communauté française de Belgique qui ont contribué au financement de la présente étude.

Bibliographie

Bulgannawar GN., Math BBM. (1991). The role of *Acacia auriculiformis* in afforestation in Karnataka, India. *In* Advance in tropical *Acacia* research, workshop held in Bangkok 1991. *ACIAR Proceedings* **35**, p. 110–115.

- F.A.O. (1997). Les forêts au service de la sécurité alimentaire. *Nat. Faune* **13** (1), p. 17–19.
- Fonton HN., Claustriax JJ., Agbahungba G. (2000). Performance d'*Acacia auriculiformis* (A. Cunn.) dans le système agroforestier au Sud-Bénin. *Ann. Sci. Agron. Bénin* (sous presse), 14 p.
- Kha D., Nghia NH. (1991). Growth of some *Acacia* species in Vietnam. *In* Advance in tropical *Acacia* research, workshop held in Bangkok 1991. *ACIAR Proceedings* **35**, p. 173–176.
- Kushalapa KA. (1991). Performances of *Acacia auriculiformis* in India. *In* Advance in tropical *Acacia* research, workshop held in Bangkok 1991. *ACIAR Proceedings* **35**, p. 189–193.
- Lejeune Ph., Rondeux J. (1994). Modèles de cubage pour essences multi-tiges : application à des plantations d'*Acacia*. *Cah. Agric.* **3**, p. 189–194.
- Minquan Y., Yutian Z. (1991). Growth and survival at 18 months of an *Acacia auriculiformis* trial in Southern China. *In* Advance in tropical *Acacia* research, workshop held in Bangkok 1991. *ACIAR Proceedings* **35**, p. 72–76.
- NAS. (National Academy for Sciences) (1979). *Firewood crops shrub and tree species for energy production*. Washington: National Academy for Sciences, p. 34–35; 50–51.
- Philip MS. (1994). *Measuring trees and forests*. Second ed., Cambridge: University Press, 310 p.
- Rondeux J. (1999) *La mesure des arbres et des peuplements forestiers* 2^e éd. Gembloux, Belgique : Presses agronomiques de Gembloux, 521 p.
- Tarp-Johansen MJ., Skovsgaard JP., Madsen SF., Johannsen VK., Skovgaard I. (1997). Compatible stem taper and stem volume functions for oak (*Quercus robur* L and *Quercus petraea* Matt. Liebl.) in Denmark. *Ann. Sci. For.* **54**, p. 577–595.
- Vietmeyer ND. (1978). Tropical tree legumes: a frontline against deforestation. *CERES, (FAO)* **12** (5), p. 38–41.

(12 réf.)