

technique et forêt

TARIFS DE CUBAGE PEUPELEMENT POUR LE DOUGLAS *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco EN MOYENNE ET HAUTE BELGIQUE

J. RONDEUX - C. LAURENT - P. LEJEUNE

L'estimation rapide du volume des peuplements de nos principales essences forestières peut être réalisée au moyen de tarifs de cubage de peuplements que nous avons déjà construits pour l'Épicéa commun [*Picea abies* (L.) Karst.] et le Hêtre (*Fagus sylvatica* L.) cultivés en futaies (Rondeux, 1977 ; Dagnelie *et al.*, 1985) et pour les chênes indigènes [*Quercus robur* L. et *Quercus petraea* (Matt.) Liebl.] rencontrés en taillis-sous-futaie (Rondeux *et al.*, 1987).

Nous avons mis à profit le grand nombre de données dendrométriques recueillies dans le cadre d'une étude consacrée à la sylviculture et à la production du Douglas, pour établir des tarifs adaptés à la détermination du volume des peuplements de ce résineux en pleine expansion et qui couvre aujourd'hui près de 11 000 hectares en Moyenne et Haute Belgique.

Nous présenterons d'abord les caractéristiques du matériel expérimental ci-dessous ; nous décrirons ensuite la technique de construction des tarifs et nous fournirons les résultats obtenus pour le volume bois fort lige ainsi que ceux relatifs à différentes découpes (p. 508). Nous envisagerons enfin l'utilisation pratique de ces tarifs (p. 510) et rappellerons leur intérêt en matière de gestion forestière (p. 512).

MATÉRIEL D'ÉTUDE

Nous avons utilisé les données issues de 357 inventaires de placettes temporaires et semi-permanentes installées dans 298 peuplements de Douglas relevant de conditions écologiques très variées et situés dans toutes les régions forestières de Haute et Moyenne Belgique. Les principales caractéristiques dendrométriques relatives à ces inventaires font l'objet du tableau I.

Tableau I Principales caractéristiques dendrométriques des placettes considérées (moyennes, extrêmes et paramètres de dispersion)

Variabes	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart-type	Coefficient de variation (%)
Âge	34,5	13	85	17,3	50,2
Hauteur dominante (m)	23,7	8,4	46,1	8,2	34,6
Circ. moy. (cm)	89,6	35,4	229,7	47,3	52,7
Nbre bois/ha	958,5	80	3 050	667,9	69,7
Surface terrière (m ² /ha)	36,3	11,5	59,0	8,0	22,1
Volume bois fort tige ⁽¹⁾ (m ³ /ha) ..	344,1	60,5	905,0	148,1	43,0

Les mensurations ont été effectuées dans des placettes d'échantillonnage circulaires, de surface variant de 2 à 15 ares selon l'âge et la densité des peuplements, et ont concerné :

- les circonférences à 1,30 m de tous les arbres de la placette ;
- les hauteurs totales des n plus gros arbres de la placette (de surface égale à n ares), la moyenne de celles-ci correspondant à la hauteur dominante.

Les surfaces terrières et les volumes sur écorce (bois fort tige et à différentes découpes) ont été calculés arbre par arbre puis ramenés à l'hectare. Les cubages ont été réalisés à l'aide d'équations de cubage « d'arbres » pour le volume bois fort tige ⁽¹⁾, et d'équations de profils d'arbres pour les volumes jusqu'aux découpes de 60, 90 et 120 cm de circonférence (Dagnelle *et al.*, 1985), choisies en raison de leur intérêt en matière commerciale.

Par convention, nous n'avons considéré les volumes jusqu'aux découpes fixées que pour les arbres dont la circonférence à 1,30 m atteignait au moins celle de ces découpes.

ÉTABLISSEMENT DES TARIFS DE CUBAGE

Volume du bois fort de la tige

Nous avons appliqué les techniques de la régression multiple, pour expliquer le volume bois fort tige à l'hectare des peuplements en fonction de caractéristiques dendrométriques simples à déterminer, telles que la hauteur dominante, la surface terrière à l'hectare, le nombre de tiges à l'hectare et l'âge, ou des variables dérivées de celles-ci.

Plusieurs équations ont été testées, en particulier, vu sa simplicité, celle envisageant une seule variable combinant la surface terrière G et la hauteur dominante h_{dom} , soit $G \cdot h_{dom}$ (Colo, 1971 ; Schlaegel, 1971). Eu égard à l'analyse des résidus et aux valeurs obtenues pour le coefficient de détermination (R^2) et l'écart-type résiduel (ECT), nous avons cependant retenu le modèle qui considérait la variable $G \cdot h_{dom}$, ainsi que ses deux composantes : G et h_{dom} :

$$VC22 = -26,2300 + 2,0204 G + 1,6584 h_{dom} + 0,2913 G \cdot h_{dom}$$

$$R^2 = 0,994$$

$$ETR = 11,4 \text{ m}^3/\text{ha}$$

dans laquelle :

VC22 = volume bois fort tige (en m³/ha)

h_{dom} = hauteur dominante (en m)

G = surface terrière (en m²/ha).

(1) Comme le bois de tige jusqu'à la découpe de 22 cm de circonférence.

Ce modèle est du même type que celui déjà utilisé par Rondeux (1977) pour élaborer les tarifs de cubage relatifs aux peuplements d'Épicéa commun (*Picea abies* (L.) Karst). Le tableau II (ci-dessous) fournit les volumes obtenus pour des hauteurs dominantes s'échelonnant de 10 à 44 m et des surfaces terrières variant de 16 à 56 m²/ha. L'abaque de la figure 1 (ci-dessous) donne une autre présentation des mêmes résultats, chaque droite correspond à une hauteur dominante fixée.

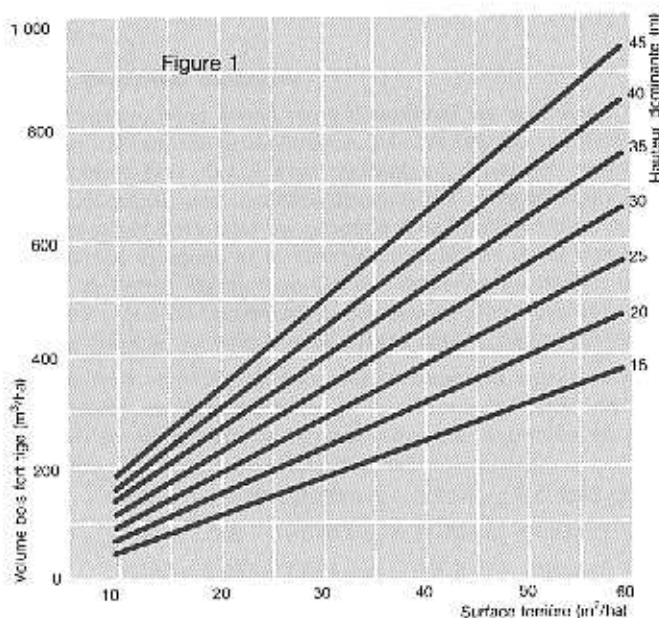


Tableau II Tarif de cubage peuplement pour le volume du bois fort tige (en m³) du Douglas en fonction de la surface terrière G (en m²) et de la hauteur dominante h_{dom} (en m)

G \ h _{dom}	h _{dom}														
	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42
24	143	161	178	195	213	230	247	264	282	299	316	334	351	368	386
26	156	174	192	211	229	248	266	285	303	322	340	359	377	396	414
28	168	187	207	227	246	266	286	305	325	344	364	384	403	423	443
30	180	201	222	242	263	284	305	326	346	367	388	409	429	450	471
32	192	214	236	258	280	302	324	346	368	390	412	434	456	478	500
34	204	227	251	274	297	320	343	366	389	412	436	459	482	505	528
36	217	241	265	289	314	338	362	387	411	435	459	484	508	532	557
38	229	254	280	305	331	356	381	407	432	458	483	509	534	560	585
40	241	268	294	321	347	374	401	427	454	481	507	534	560	587	614
42	253	281	309	336	364	392	420	448	475	503	531	559	587	614	642
44	265	294	323	352	381	410	439	468	497	526	555	584	613	642	671
46	278	308	338	368	398	428	458	488	518	549	579	609	639	669	699
48	290	321	352	384	415	446	477	509	540	571	603	634	665	696	728
50	302	334	367	399	432	464	497	529	561	594	626	659	691	724	756

On espérait pouvoir utiliser, en première approximation, un coefficient de forme F du peuplement, tel que le volume puisse être estimé très rapidement au moyen de la relation :

$$VC22 = F (G \cdot h_{com})$$

Ce coefficient vaut en moyenne 0,397 pour le Douglas (0,421 pour l'Épicéa), mais on constate qu'il est assez fortement corrélé avec l'âge ($r = 0,875$). On évitera de recourir à cette formule simplifiée, qui entraînerait notamment des surestimations importantes, en particulier dans les plus vieux peuplements. Nous préconiserons dès lors l'utilisation de l'équation à deux entrées proposée ci-avant.

Volumes jusqu'à différentes découpes

Dans un premier temps, nous avons tenté d'exprimer les volumes à l'hectare pour des découpes fixées à 60, 90 et 120 cm de circonférence, par les mêmes modèles de régression multiple déjà testés pour le volume bois fort tige et mettant en œuvre les mêmes variables. Eu égard à la précision assez décevante des résultats obtenus par cette estimation directe et à l'existence de biais, nous avons plutôt opté pour un procédé d'estimation indirecte. Les rapports existant entre les différents volumes évoqués et le volume du bois fort de la tige ont été mis en relation avec la circonférence de l'arbre de surface terrière moyenne au moyen de régressions polynomiales. Les volumes relatifs aux découpes en circonférence désirée s'obtiennent ensuite en multipliant ce rapport par le volume du bois fort lui-même estimé par le tarif correspondant.

Sachant que P60, P90 et P120 représentent les rapports entre les volumes jusqu'aux découpes de 60, 90 et 120 cm de circonférence et le volume du bois fort tige, et que c_0 désigne la circonférence de l'arbre de surface terrière moyenne, exprimée en mètres, les équations ayant donné les meilleurs résultats sont respectivement :

$$P60 = -1,125 + 3,6799 c_0 - 2,1916 c_0^2 + 0,4313 c_0^3$$

$$P90 = 6,006 - 19,876 \sqrt{c_0} + 17,789 c_0 - 4,235 c_0^2 + 0,5094 c_0^3$$

$$P120 = 1,867 + 7,664 \sqrt{c_0} - 8,872 c_0 + 3,9459 c_0^2 - 0,7786 c_0^3$$

La figure 2 (ci-dessous) présente, sous la forme d'abaque, les pourcentages du volume bois fort tige pour les différentes découpes et pour des circonférences moyennes c_0 variant de 40 à 160 cm.

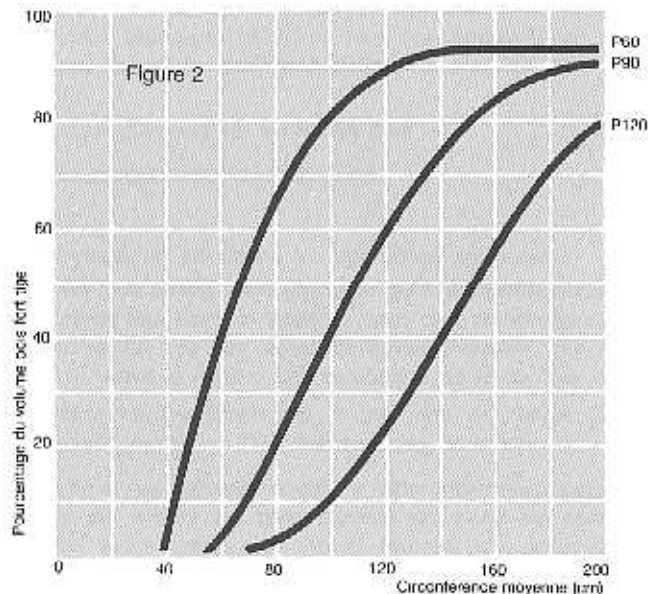


Tableau III Précisions comparées des méthodes d'estimation directe et indirecte des volumes jusqu'à différentes découpes de circonférence

Volumes aux découpes de	Estimation indirecte		Estimation directe	
	R^2	σ_e	R^2	σ_e
60 cm	0,992	16,52	0,949	41,29
90 cm	0,992	16,70	0,926	51,42
120 cm	0,991	14,26	0,842	60,05

Les coefficients de détermination R^2 et les écarts quadratiques moyens σ_e entre valeurs observées et valeurs estimées (tableau III, ci-dessus) traduisent le gain très important de précision de la méthode d'estimation indirecte, comparée à celle s'appuyant sur la régression multiple.

On peut voir que l'écart quadratique moyen, obtenu pour l'estimation indirecte des volumes jusqu'aux différentes découpes, est nettement moins élevé que pour l'estimation directe et est en outre du même ordre de grandeur que l'écart-type résiduel de l'équation de régression donnant le volume bois fort lige.

UTILISATION DES TARIFS

L'estimation rapide du volume bois fort tige à l'hectare d'une douglaslière pure et équiennne pourra être fournie avec une bonne précision, en fonction des deux grandeurs moyennes qui sont la hauteur dominante (h_{dom}) et la surface terrière à l'hectare (G).

La détermination de ces paramètres nécessite de procéder par échantillonnage. Une fois le peuplement convenablement délimité, on recommandera de localiser des points de sondage selon un schéma de préférence systématique pour assurer une bonne « couverture » de l'ensemble à inventorier. Leur nombre dépendra de l'étendue du peuplement et de son homogénéité. Pour la hauteur dominante, selon Hamilton (1975), et dans l'hypothèse d'une seule mesure par point de sondage (hauteur de l'arbre le plus gros dans une placette de 1 are), ce nombre pourrait être fixé comme suit :

- 6 à 8 points pour des peuplements de moins de 2 ha ;
- 8 à 12 points pour des peuplements de 2 à 10 ha ;
- 10 à 16 points au-delà.

En chacun des points de sondage, on effectuera les opérations suivantes :

- repérage des deux plus gros arbres dans un rayon de 8 m (correspondant à une placette circulaire de 2 ares), et mesure de leur hauteur totale, à l'aide d'un dendromètre. On préconisera deux mesures de hauteur pour éviter que des arbres de forme anormale, plus fréquents chez le Douglas que chez l'Épicéa, n'altèrent la qualité de l'estimation de la hauteur dominante ;

- estimation de la surface terrière locale par la méthode de l'angle critique (Rondeux, 1981), à l'aide d'un prisme relascopique ou d'un relascope de Bitterlich.

Si on souhaite également estimer les volumes relatifs à différentes découpes, on mesurera en outre les circonférences des six arbres les plus proches du point de sondage (Laurent et Rondeux, 1985). La moyenne quadratique de celles-ci fournira une estimation locale de la circonférence de l'arbre de surface terrière moyenne (c_v).

Une fois ces différentes mesures réalisées, on dispose de trois estimations locales : h_{dom} , G et c_p . Dans l'hypothèse où un échantillonnage d'un peuplement donné aurait fourni une hauteur dominante de 25 m, une surface terrière de 38 m²/ha et une circonférence de l'arbre de surface terrière moyenne de 100 cm, l'équation générale de cubage permet d'estimer directement le volume du bois fort tige.

Cette estimation peut évidemment aussi être réalisée grâce au tableau II à la condition de pratiquer, dans le cas particulier de l'exemple, une interpolation entre les hauteurs dominantes de 24 et de 26 m.

En effet, sachant que :

$$VC_{24} = 356 \text{ m}^3/\text{ha}, \text{ pour } 24 \text{ m et } 38 \text{ m}^2/\text{ha},$$

et que :

$$VC_{26} = 381 \text{ m}^3/\text{ha}, \text{ pour } 26 \text{ m et } 38 \text{ m}^2/\text{ha}$$

le volume à l'hectare correspondant à une hauteur dominante de 25 m est égal à 368,5 m³.

Cette valeur aurait également pu être déterminée de manière plus approximative, en utilisant l'abaque faisant l'objet de la figure 1 (p. 509).

Quant aux volumes jusqu'aux différentes découpes, ils sont issus des proportions elles-mêmes estimées via les équations proposées au paragraphe « Établissement des tarifs de cubage » ou lues sur la figure 2 (p. 510).

Dans ce dernier cas, on peut mettre les valeurs suivantes en évidence :

$$\begin{aligned} P_{60} &= 80 \%, \text{ soit } V_{60} = 368,5 \times 0,80 = 294,8 \text{ m}^3/\text{ha} \\ P_{90} &= 39 \%, \text{ soit } V_{90} = 368,5 \times 0,39 = 143,7 \text{ m}^3/\text{ha} \\ \text{et } P_{120} &= 9 \%, \text{ soit } V_{120} = 368,5 \times 0,09 = 33,2 \text{ m}^3/\text{ha} \end{aligned}$$

Les différents volumes à l'hectare correspondront à la moyenne arithmétique des volumes obtenus à chaque point de sondage⁽²⁾.

CONCLUSIONS

Les tarifs de cubage de peuplement que nous avons construits pour le Douglas sont des outils performants au service de la gestion forestière courante (Bouchon, 1974). Ils permettent d'effectuer des estimations très rapides du volume à l'hectare du matériel ligneux dans le cas de peuplements relativement étendus.

Leur application est relativement aisée si l'on tient compte de la facilité de détermination des paramètres à estimer : hauteur dominante et surface terrière qui sont d'ailleurs très utiles à considérer dans d'autres contextes que le simple cubage (études de productivité ou entrées dans des tables de production, par exemple). Leur mise en œuvre ne nécessite qu'un matériel de mesure relativement restreint et manipulable par un seul homme, elle suppose également que l'on ait recours à des méthodes d'échantillonnage assurant la représentativité, à l'échelle du peuplement, des variables à récolter.

(2) Utiliser la moyenne des hauteurs, surfaces terrières et proportions comme entrées des équations de régression entraîne en principe un biais ; cependant, si le peuplement est suffisamment homogène, ce biais est négligeable.

Il est intéressant de noter qu'à surfaces terrières et hauteurs dominantes identiques, les douglasières ont un volume à l'hectare inférieur à celui des pessières. Cela pourrait s'expliquer par le fait qu'à hauteurs égales les tiges de Douglas présenteraient un défilament plus élevé lié à des grosscours plus élevées.

J. RONDEUX
Département des Eaux et Forêts
Unité de Gestion et d'Economie forestières
et Centre de Recherche et de Promotion forestières (IRSIA)
Section « Aménagement et Production »
FACULTÉ DES SCIENCES AGRONOMIQUES DE GEMBLOUX
B-5030 GEMBLOUX

C. LAURENT
Centre de Recherche et de Promotion forestières (IRSIA)
Section « Aménagement et Production »
FACULTÉ DES SCIENCES AGRONOMIQUES DE GEMBLOUX
B 5030 GEMBLOUX

P. LEJEUNE
Département des Eaux et Forêts
Unité de Gestion et d'Economie forestières
FACULTÉ DES SCIENCES AGRONOMIQUES DE GEMBLOUX
B-5030 GEMBLOUX

BIBLIOGRAPHIE

- BOUCHON (J.). — Les Tarifs de cubage. — Nancy : Institut national de la Recherche agronomique et École nationale du Génie rural, des Eaux et des Forêts, 1974. — 135 p.
- COLE (D.M.). — A cubic-foot stand volume equation for lodgepole pine in Montana and Idaho. — *USDA Forest Service, Research Note INT-150*, 1971, 8 p.
- DAGNELIE (P.), PALM (R.), RONDEUX (J.), THILL (A.). — Tables de cubage des arbres et des peuplements forestiers. — Gembloux : Presses agronomiques de Gembloux, 1985. — 148 p.
- HAMILTON (G.J.). — Forest mensuration handbook. — *Forestry Commission Booklet*, n° 39, 1975, 274 p.
- LAURENT (C.), RONDEUX (J.). — Étude comparative de diverses unités d'échantillonnage à nombre de bois prédéterminé (cas de forêts résineuses équiennes). — Gembloux : Centre de Recherche et de Promotion forestières, Section « Aménagement et Production » (IRSIA), Faculté des Sciences agronomiques, 1985. — 21 p.
- RONDEUX (J.). — Construction et utilisation de tarifs de cubage peuplement pour l'Épicéa (*Picea abies* (L.) Karst) en Ardenna méridionale. — *Bulletin des Recherches agronomiques de Gembloux*, vol. 12, n° 4, 1977, pp. 339-348.
- RONDEUX (J.). — La Mesure de la hauteur des arbres au moyen d'un clinomètre. — *Bulletin de la Société royale forestière de Belgique*, vol. 69, n° 2, 1981, pp. 57-62.
- RONDEUX (J.), HEBERT (J.), TOUSSAINT (A.). — L'estimation rapide des volumes sur pied en taillis-sous-futale de Chênes. — *Bulletin des Recherches agronomiques de Gembloux*, vol. 22, n° 3, 1987, pp. 199-207.
- SCHLAEGEL (B.E.). — Growth and yield of quacking aspen in North-Central Minnesota. — *USDA Forest Service, Research Paper NC-58*, 1971, 11 p.