

TARIFS DE CUBAGE POUR L'AULNE GLUTINEUX [*ALNUS GLUTINOSA* (L.) GAERTN.] EN BELGIQUE MÉRIDIONALE *

A. THIBAUT - J. RONDEUX - H. CLAESSENS

L'Aulne glutineux rencontre aujourd'hui un regain d'intérêt de par sa vocation d'essence alternative dans nombre de situations marginales ou difficiles pour la culture d'essences forestières et de par son intérêt en matière de conservation biologique de milieux inféodés aux zones humides (Claessens, 1990 ; Scohy, 1990a, 1990b ; Claessens et Thibaut, 1994). Si, en outre, on se réfère aux propriétés très intéressantes de son bois, il justifie la mise en œuvre d'études "intégrées", associant autécologie, productivité, sylviculture et technologie du bois.

Force est de constater qu'en Europe occidentale, la littérature est quasi inexistante en matière d'études dendrométriques relatives à l'Aulne glutineux. C'est la raison pour laquelle, dans le cadre d'une recherche consacrée à cette essence en Belgique, plus particulièrement au sud du Sillon Sambre-et-Meuse, nous avons jugé opportun d'envisager en priorité la construction de tarifs de cubage "arbres". Ceux-ci sont utiles non seulement en matière de commercialisation du bois mais surtout de gestion forestière au sens large, y compris des études visant à mieux connaître la productivité, réelle ou potentielle, exprimée, par exemple, en production totale en volume.

Nous avons délibérément opté pour la construction de trois tarifs de cubage distincts : à une entrée [$v = f(c)$], à deux entrées [$v = f(c, h)$] et à une entrée gradué en fonction de la hauteur dominante du peuplement [$v = f(c, h_{dom})$], sachant que v représente le volume bois fort tige⁽¹⁾, c , la circonférence à 1,30 m, h , la hauteur totale et h_{dom} , la hauteur dominante du peuplement auquel appartient l'arbre.

Dans les lignes qui suivent, nous fournirons d'abord une description des peuplements et des milieux de croissance étudiés, nous donnerons ensuite quelques indications sur la démarche proposée et la nature des mesures récoltées (p. 245), avant de présenter les principaux résultats obtenus sous forme d'équations ou de tableaux (p. 247). Une brève conclusion clôturera l'étude (p. 249).

* Recherches subventionnées par le ministère des Classes moyennes et de l'Agriculture, Administration de la Recherche et du Développement.

(1) Volume de la tige jusqu'à la découpe de 22 cm de circonférence.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Sites et peuplements échantillonnés

L'étude porte sur les peuplements ou groupes d'Aulne glutineux, d'origine naturelle ou artificielle, qui sont équiennes ou d'allure équienne, purs ou faiblement mélangés et actuellement traités en futaie. Elle ne concerne pas les taillis ou les plantations d'accompagnement, et encore moins les alignements le long des cours d'eau, à situer dans un cadre plus rural que forestier.

Pour constituer un échantillon représentatif des grosseurs et des hauteurs d'arbres à mesurer en vue de l'élaboration de tarifs de cubage, 29 peuplements en exploitation ont été repérés au sein des régions naturelles, des milieux écologiques et des conditions de croissance les plus fréquemment associés à l'Aulne glutineux.

Parmi ces peuplements, 21 se trouvent en Ardenne (15 en basse Ardenne et 6 en moyenne Ardenne), 4 en Famenno, 3 en Condroz et 1 en Région limoneuse. Ils sont issus de plantations (5), de taillis (6) et surtout de semis naturels parfois accompagnés de taillis (18). La majorité d'entre eux (24) fait actuellement l'objet d'un traitement en futaie, les autres étant en phase de conversion du taillis-sous-futaie vers la futaie.

Les sols sur lesquels l'Aulne est le plus rencontré sont faiblement gleyfiés à totalement réduits et étroitement associés à la présence d'une nappe phréatique temporaire ou permanente. Dans la majorité des cas, ces sols n'ont pas développé de profil, en relation avec leur caractère alluvionnaire ou colluvionnaire, ou sont fortement influencés par l'hydromorphie.

L'humus est de type mull (73 %) ou moder (19 %), avec des formes fréquemment influencées par le régime hydrique, et de type anmoor (8 %).

Les peuplements étudiés sont localisés à des altitudes comprises entre 93 et 475 mètres et sont principalement situés dans des dépressions, des fonds de vallée ou sur des plateaux.

En ce qui concerne la phytosociologie, les stations étudiées (26) relèvent de quatre types phytosociologiques : l'aulnaie alluviale (9), l'aulnaie de source (4), l'aulnaie marécageuse (4) et la chênaie pédonculée (9) ainsi que leurs variantes. On peut considérer que l'échantillon de peuplements dont proviennent les arbres mesurés est un reflet fidèle des principaux types de station dans lesquelles l'Aulne peut dominer le peuplement.

Types de mesures effectuées et méthode de cubage

Au sein des peuplements sélectionnés, actuellement traités en futaie ou en conversion de taillis-sous-futaie, 210 arbres abattus, d'âges et de dimensions variées (tableau I, p. 246), issus d'éclaircies ou de mises à blanc, ont été mesurés. Forts de l'expérience acquise au cours d'études antérieures similaires portant aussi bien sur essences feuillues que résineuses (Dagnelle *et al.*, 1985 ; Palm, 1981, 1982 ; Rondeux, 1973), nous avons réalisé les mesures suivantes :

- circonférence sur écorce à 1,30 m (c, en cm) ⁽²⁾,
- circonférences sur écorce mesurées au niveau d'abattage, à 0,50 m, à 1,50 m, puis de mètre en mètre jusqu'à 9,50 m et de 2 m en 2 m à partir de 11 m (toutes les hauteurs ou "longueurs" étant exprimées par rapport au niveau du sol),
- hauteurs totales (h, en cm),
- hauteurs (cm) jusqu'aux découpes de 120 cm, 90 cm, 60 cm et 22 cm de circonférence.

(2) La circonférence, considérée à 1,50 m au-dessus du niveau du sol, est la mesure de grosseur en vigueur en Belgique. Nous l'avons mesurée à 1,30 m au-dessus du niveau du sol pour respecter les normes internationales.

Des mesures ont également porté sur les hauteurs totales des arbres les plus gros en vue de déterminer les hauteurs dominantes (h_{dom}) des peuplements échantillonnés. Par convention et compte tenu de l'allure des peuplements ou groupes d'arbres concernés, nous avons mesuré la hauteur totale des deux plus gros bois par placette de 10 ares.

Tableau I
Présentation des arbres échantillonnés
 (répartition par classes de circonférence et de hauteur totale),
 valeurs moyennes, minimales, maximales et coefficient de variation (CV, en %)
 des circonférences (c, en cm), des hauteurs totales (h, en m),
 des hauteurs dominantes (h_{dom} , en m) et du volume bois fort tige (v, en m³)

c \ h	7-9,9	10-12,9	13-15,8	16-10,9	19-21,9	22-24,9	25-27,9	28-30,9	Total
< 30 ...	9	12	-	-	-	-	-	-	21
30-49 ...	-	14	9	6	6	1	-	-	36
50-69 ...	-	-	1	18	15	6	-	-	30
70-89 ...	-	-	-	9	15	10	-	-	34
90-109 ...	-	-	-	2	16	5	3	-	28
110-128 ...	-	-	-	-	10	15	1	-	26
130-149 ...	-	-	-	-	8	5	5	-	18
150-168 ...	-	-	-	-	-	8	1	2	9
≥ 170 ...	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total ...	9	26	10	33	72	48	10	2	210

Caractéristiques dendrométriques	Moyenne	CV (%)	Minimum	Maximum
c	79	48,2	22	169
h	18,08	23,8	7,85	28,45
h_{dom}	19,87	25,6	3,00	29,38
v	0,593	93,7	0,007	2,498

À partir des mesures de circonférence effectuées aux différents niveaux précisés ci-avant et délimitant successivement 1 billon de 0,50 m, 9 billons de 1 m, puis des billons de 2 m, les volumes des arbres ont été déterminés par sommation des volumes des billons successifs assimilés à des troncs de cône (Palm, 1982 ; Rondeux, 1993), jusqu'aux découpes en circonférence mentionnées, selon l'équation suivante :

$$v_k = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{12} \left(c_{i0}^2 + c_{i1}^2 + c_{i0} c_{i1} \right)$$

dans laquelle :

- v_k = volume jusqu'à une circonférence déterminée k,
- L_i = longueur du billon i ($i = 1, n$),
- c_{i0} = circonférence à la base du billon i,
- c_{i1} = circonférence fin bout du billon i.

Nous avons ensuite, à partir des volumes estimés jusqu'aux différentes découpes, fixées à 60, 90 et 120 cm de circonférence, calculé les rapports entre ces volumes et le volume bois fort tige.

Calcul des équations de cubage et de rapports de volumes

Plusieurs modèles mathématiques linéaires et non linéaires ont été ajustés à l'ensemble des données dendrométriques récoltées, par régression, linéaire ou non, selon les équations. Nous avons procédé en deux étapes consistant à :

- identifier les meilleures équations exprimant le volume bois fort tige en fonction des variables telles que la circonférence à 1,30 m, la hauteur totale et la hauteur dominante ;
- estimer, au moyen d'équations adaptées, les rapports entre les volumes jusqu'aux découpes fixées aux circonférences de 60, 90 et 120 cm et le volume bois fort tige.

La qualité des ajustements a été appréciée par l'intermédiaire du coefficient de détermination R^2 , du coefficient de variation résiduelle (CVR) et de l'analyse visuelle des résidus de manière à détecter les éventuels biais et de recourir au besoin à une régression pondérée. Pour les équations non linéaires, le coefficient de détermination R^2 correspond au carré du coefficient de corrélation calculé entre les valeurs observées de la variable dépendante et ses valeurs estimées, issues des ajustements, après retour à la variable non transformée, en cas de transformation.

• Volume bois fort tige

Les équations ajustées se sont largement inspirées de la littérature et mettent en œuvre des variables simples (c , c^2 , c^3 , h , h_{dom}) ou combinées (c^2h , ch) ainsi que leur expression logarithmique.

• Rapports de volumes

En ce qui concerne les rapports de volumes v_k/v (v_k = volume jusqu'à la circonférence k , et v = volume bois fort tige), ils ont été mis en relation avec la seule circonférence à 1,30 m, utilisant des fonctions à trois paramètres telles que celles de Mitscherlich et de Gauss modifiée (Debouche, 1977). Lorsque l'allure graphique le suggérait, des équations linéaires ont aussi été envisagées.

PRINCIPAUX RÉSULTATS

Tarifs de cubage

La variance des volumes augmentant avec la circonférence des arbres, afin de stabiliser les variances, nous avons utilisé la régression pondérée en adoptant comme facteur de pondération l'inverse de la variance résiduelle estimée (Bouchon, 1974 ; Cailliez, 1980 ; Rondeux, 1993).

Pour les trois types de tarifs de cubage présentés antérieurement, nous avons retenu les équations suivantes, sachant que v représente le volume bois fort tige (en m^3), c la circonférence à 1,30 m (en cm), h la hauteur totale (en m) et h_{dom} la hauteur dominante du peuplement (en m).

• Tarif à une entrée

$$v = -0,037532 + 0,000082146 c^2$$

$$[R^2 = 0,97 ; CVR = 16,0 \ %]$$

Les volumes relatifs à ce tarif font également l'objet du tableau II (colonne 2) (p. 248).

• Tarif à deux entrées

$$v = -0,034080 + 0,001152 c + 0,000003215 (c^2h)$$

$$[R^2 = 0,98 ; CVR = 11,8 \ %]$$

• Tarif à une entrée gradué

$$v = \exp(-13,590029) (c^{2,046008}) \left(\frac{11,257923}{\text{dom}} \right)$$

$$[R^2 = 0,97 ; \text{CVR} = 18,7 \ %]$$

Les tarifs à une entrée et à deux entrées présentent non seulement une meilleure précision que le tarif gradué à une entrée mais aussi un caractère plus universel mieux adapté à la variabilité des différentes formes de peuplements d'Aulne généralement rencontrés. La moins bonne qualité d'ajustement du tarif gradué à une entrée lui confère en principe moins d'intérêt, il est néanmoins présenté à titre indicatif.

Rapports des volumes

Les rapports de volume déjà évoqués ont fait l'objet d'ajustements en fonction de la circonférence à 1,30 m. Sachant que v_{60} , v_{90} et v_{120} représentent respectivement les volumes jusqu'aux découpes de 60, 90 et 120 cm de circonférence et v le volume bois fort tige, lesdits rapports sont fournis par les équations suivantes :

$$\bullet v_{60} / v = 0,964182 [1 - \exp(- (c - 56,019852) / 20,475213)]$$

$$[R^2 = 0,96 ; \text{CVR} = 6,2 \ %]$$

Tableau II Évolution des volumes bois fort tige (v , m^3) et des différents volumes jusqu'aux découpes en circonférence de 60 cm (v_{60}), 90 cm (v_{90}) et 120 cm (v_{120}) en fonction des circonférences à 1,30 m (c)

c (cm)	v (m^3)	v_{60} (m^3)	v_{90} (m^3)	v_{120} (m^3)
25	0,014	-	-	-
35	0,063	-	-	-
45	0,129	-	-	-
55	0,211	-	-	-
65	0,310	0,108	-	-
75	0,425	0,262	0,017	-
85	0,556	0,414	0,074	-
95	0,704	0,569	0,185	-
105	0,868	0,776	0,353	0,042
115	1,049	0,974	0,576	0,129
125	1,246	1,184	0,836	0,263
135	1,460	1,406	1,121	0,458
145	1,690	1,641	1,417	0,733
155	1,936	1,890	1,715	1,106
165	2,199	2,154	2,012	1,600
175	2,478	2,432	2,310	-
185	2,774	2,725	2,610	-

Les valeurs en italiques concernent les extrapolations.

$$v_{90}/v = 0,949015 \left[1 - \exp \left(-\left((c - 63,318613) / 55,692504 \right)^2 \right) \right]$$

[R² = 0,93 ; CVR = 14,9 %]

En raison du faible effectif de gros arbres se traduisant par un manque d'information sur l'allure globale de la relation entre v_{120}/v et c , le modèle qui a été adopté retrace l'évolution de ce rapport dans la seule gamme des arbres échantillons observés. La forme même de ce modèle justifie qu'il ne soit pas utilisé en extrapolation pour des valeurs de circonférence supérieures à 165 cm.

$$v_{120}/v = -0,186958 + 2,0362 (10^{-7}) c^5$$

[R² = 0,69 ; CVR = 20,1 %]

En les multipliant par le volume bois fort tige, les valeurs des rapports issus de ces équations permettent aussi d'estimer les volumes jusqu'aux trois découpes retenues (tableau II, p. 248).

CONCLUSIONS

Dans le cadre plus global d'une étude consacrée à l'Aulne glutineux, trois tarifs de cubage d'arbres ont été construits à partir de 210 arbres mesurés dans 29 peuplements situés en Belgique méridionale, plus particulièrement au sud du Sillon Sambre et Meuse. Les évolutions du volume bois fort tige (v , m³) sont respectivement présentées, sous forme d'équations mathématiques, pour des tarifs à une entrée [$v = f(c)$], à une entrée gradué [$v = f(c, h_{dec,m})$], et à deux entrées [$v = f(c, h)$]. Les rapports entre volumes correspondant à trois différentes découpes situées à 80, 90 et 120 cm de circonférence et le volume bois fort tige ont également été calculés. Toutes les relations sont fournies en fonction de la circonférence à 1,30 m au-dessus du niveau du sol.

A. THIBAUT

Centre de Recherche et de Promotion forestières
 Section "Écologie"
 FACULTÉ UNIVERSITAIRE
 DES SCIENCES AGRONOMIQUES DE GEMBOUX
 Passage des Déportés, 2
 B 5090 GEMBOUX (BELGIQUE)

J. RONDEUX - H. CLAESSENS

Unité de Gestion et Économie forestières
 FACULTÉ UNIVERSITAIRE
 DES SCIENCES AGRONOMIQUES DE GEMBOUX
 Passage des Déportés, 2
 B 5090 GEMBOUX (BELGIQUE)

Remerciements

Au terme de cette étude, les auteurs adressent leurs remerciements à Messieurs J.-P. Morimont et M. Delisbe, qui ont assuré la récolte des données de base nécessaires à cette étude. À cette occasion, ils tiennent également à remercier les ingénieurs et les agents techniques de la Division de la Nature et des Forêts (Direction générale des Ressources naturelles et de l'Environnement de Wallonie), ainsi que les propriétaires privés et leurs régisseurs, qui les ont aidés dans la recherche des peuplements d'Aulne et la récolte des données sur le terrain.

BIBLIOGRAPHIE

- BOUCHON (J.) — Les Tarifs de cubage. — Nancy : Centre national de Recherches forestières - Ecole nationale du Génie rural, des Eaux et des Forêts, 1974. — 135 p.
- CAILLIEZ (F.) — Estimation des volumes et accroissements des peuplements forestiers (avec référence particulière aux forêts tropicales). Volume I : Estimation des volumes. — Rome : FAO, 1980. — 229 p. (Forêts 22/1).
- CLAESSENS (H.) — L'Aulne glutineux (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.), une essence forestière oubliée. — *Silva Belgica*, vol. 97, n° 2, 1990, pp. 25-33.
- CLAESSENS (H.), THIDAUT (A.) — Où peut-on cultiver l'Aulne glutineux avec succès ? — *Silva Belgica*, vol. 101, n° 2, 1994, pp. 7-12.
- DAGNELIE (P.), THILL (A.), RONDEUX (J.), PALM (R.) — Tables de cubage des arbres et des peuplements forestiers. — Gembloux : Presses agronomiques de Gembloux, 1985. — 148 p.
- DEFOUCHE (C.) — Application de la régression non linéaire à l'étude et à la comparaison de courbes de croissance longitudinale. — Gembloux : Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux, 1977. — 304 p. (Thèse de Doctorat).
- PALM (R.) — Contribution méthodologique au cubage des arbres et à la construction de tarifs de cubage et d'assortiments. — Gembloux : Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux, 1981. — 247 p. + 47 annexes (Thèse de Doctorat).
- PALM (R.) — Influence de la formule de cubage et de la longueur des billons sur la détermination du volume des arbres abattus. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 39, 1982, pp. 231-238.
- RONDEUX (J.) — La Mesure des arbres et des peuplements forestiers. — Gembloux : Presses agronomiques de Gembloux, 1993. — 521 p.
- RONDEUX (J.) — Principes de construction des tarifs de cubage mathématiques et de traitement automatique d'observations dendrométriques. — *Bulletin de la Société royale forestière de Belgique*, vol. 80, 1973, pp. 165-187.
- SCOHY (J.-P.) — L'Aulne glutineux (1^{re} partie). — *Silva Belgica*, vol. 97, n° 1, 1990a, pp. 47-52.
- SCOHY (J.-P.) — L'Aulne glutineux (2^e partie). — *Silva Belgica*, vol. 97, n° 2, 1990b, pp. 35-40.