

Construction de tarifs de cubage d'arbres pour l'aulne glutineux [*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.]*

André Thibaut, Hugues Claessens, Jacques Rondeux

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 29 janvier 1998, accepté le 16 février 1998.

Dans le cadre d'une étude effectuée sur l'aulne glutineux en Belgique méridionale, trois tarifs de cubage individuels ont été construits sur la base de 210 arbres abattus mesurés dans 29 peuplements d'aulne traités en futaie et échantillonnés dans la partie Sud de la Belgique. Les volumes bois fort tige (v) sont exprimés au moyen d'un tarif à une entrée [$v = f(c)$; $c =$ circonférence à 1,3 m], d'un tarif paramétré à une entrée [$v = f(c, h_{\text{dom}})$; $h_{\text{dom}} =$ hauteur dominante du peuplement] et d'un tarif à deux entrées [$v = f(c, h)$; $h =$ hauteur totale]. Des rapports entre les volumes jusqu'aux découpes de 60, 90 et 120 cm de circonférence et les volumes bois fort tige ont également été calculés et mis en relation avec la circonférence à 1,3 m.

Mots-clés. Aulne glutineux, *Alnus glutinosa*, tarif de cubage d'arbres, équation de volume, Sud de la Belgique.

The construction of volume tables for black alder [*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.] trees growing in even-aged stands of the Southern Belgium. This article deals with the construction of tree volume tables for black alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) in the Southern part of Belgium. Regression equations are calculated for estimating the volume over bark from stump to a top girth of 22 cm, excluding all branches. A total of 210 felled trees were used in this analysis and collected from 29 even-aged stands of black alder located in a large range of ecological and silvicultural conditions in the Southern part of Belgium. For the tree volume table construction, we have used measurements such as total height, girth at breast height and girths at fixed heights. We have built equations by weighted least squares method for estimating volume of black alder tree expressed as a function of one variable (girth at 1.3 m) or two independent variables (girth at 1.3 m and total height, girth at 1.3 m and dominant height of the stand). The volume can also be converted in other volumes limited to fixed girths using ratios calculated from appropriate equations. The study is limited to black alder trees growing in even-aged stands of the Southern Belgium.

Keywords. Black alder, *Alnus glutinosa*, tree volumes tables, volume equations, Southern Belgium.

INTRODUCTION

De 1970 à 1984, le Centre d'Écologie forestière (IRSIA), en collaboration avec le Bureau de Biométrie (IRSIA), l'Unité de Statistique et les Unités forestières de la Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux, a réalisé un nombre important d'études dendrométriques relatives aux principales essences cultivées en Belgique (Dagnelie *et al.*, 1985) et préalables à la construction de modèles de croissance (Dagnelie *et al.*, 1988; Rondeux, Thibaut, 1996). Beaucoup d'essences nettement moins bien représentées ou considérées comme secondaires (sapins, pins, tsuga, peupliers, charme, châtaignier, aulnes, alisier, etc.) n'ont pas fait l'objet d'études dendrométriques

semblables, ce qui implique souvent, en matière de cubage, de devoir les assimiler à d'autres essences déjà étudiées.

Nous avons mis à profit une recherche intégrée¹ entreprise voici 5 ans et destinée à jeter les bases d'une sylviculture appropriée à l'aulne glutineux, essence "redécouverte" pour son intérêt tant économique qu'écologique (Claessens, 1990; Scohy, 1990a; 1990b; Claessens, Thibaut, 1994).

Une première partie de la recherche, faisant l'objet des lignes qui suivent, a été consacrée à l'établissement de tarifs de cubage d'arbres en vue de déterminer le volume du matériel sur pied au sein de placettes de production installées en aulnaies. Elle a été réalisée à

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

¹ entreprise par la Section "Écologie" du Centre de Recherche et de Promotion forestières et financée par le Ministère des Classes moyennes et de l'Agriculture; cette étude concernait l'autécologie, l'estimation de la productivité et l'établissement de normes sylvicoles.

partir de peuplements situés au sud du Sillon Sambre-et-Meuse (Sud de la Belgique).

Après avoir présenté le matériel d'étude tant du point de vue des peuplements que des mesures effectuées, nous envisagerons l'élaboration proprement dite des tarifs de cubage. Nous formulerons quelques commentaires suscités par une comparaison avec des données extraites de tarifs de cubage étrangers et nous terminerons par une brève conclusion.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

L'étude porte spécifiquement sur des peuplements ou groupes d'aulne glutineux, d'origine naturelle ou artificielle, croissant en ambiance forestière. De ce fait, les alignements le long des cours d'eau ne sont pas pris en considération, à l'exception de ceux qui se situent en forêt et dont les conditions de croissance s'apparentent à celles des futaies. Enfin, les peuplements investigués sont équiennes ou d'allure équienne et purs ou faiblement mélangés. Ils sont traités en futaie.

Peuplements choisis pour la collecte des données

Les peuplements choisis pour récolter les données dendrométriques nécessaires à la construction de tarifs de cubage d'arbres doivent non seulement couvrir des conditions écologiques aussi variées que possible, mais aussi comporter les classes de grosseurs et de hauteurs les plus représentatives des aulnaies rencontrées dans la région de croissance étudiée. Pour atteindre ces objectifs, 29 peuplements d'aulne, dont la localisation géographique fait l'objet de la **figure 1**, ont été sélectionnés.

Les **tableaux 1 et 2** présentent, pour les peuplements échantillonnés, respectivement des données générales, des données dendrométriques et des données écologiques (classification pédologique, type d'humus, région naturelle, altitude, topographie, pente, exposition et type d'association phytosociologique). En matière dendrométrique, plus particulièrement, seuls l'âge et la hauteur dominante (h_{dom}) sont pris en considération ; cette dernière est définie, par convention, comme étant la moyenne arithmétique des 10 plus gros arbres à l'hectare².

En ce qui concerne les régions naturelles et l'origine des peuplements qui figurent dans l'échantillon, sur les 29 peuplements étudiés on constatera que 21 d'entre eux se trouvent en Ardenne³ (15 en basse Ardenne et 6 en moyenne Ardenne), 4 en Famenne, 3 en Condroz et 1 en Région limoneuse. Quant à

l'origine des peuplements retenus, 5 sont issus de plantations, 18 résultent de semis naturels purs ou mélangés à du taillis et 6 proviennent du taillis. Enfin, sur le plan sylvicole, la majorité des peuplements (24) sont traités en futaie et quelques-uns (5) sont en phase de conversion du taillis sous futaie vers la futaie.

En ce qui concerne la description des sols⁴, deux remarques s'imposent : la première est relative aux types de drainage rencontrés qui sont liés à des sols allant de faiblement gleyfiés (c) à totalement réduits (g) et associés à la présence d'une nappe phréatique temporaire ou permanente ; la seconde concerne le développement de profil, majoritairement non défini (sigle x), ou traduisant l'absence de différenciation des horizons (sigle p), et lié à des sols de types alluvionnaires ou colluvionnaires. Quant au type d'humus, il est, dans 73 % des cas, de type mull, dans 19 %, de type moder, et dans 8 %, de type anmoor, avec des formes influencées par la présence d'eau et liées aux régimes hydriques particuliers.

En ce qui concerne la topographie, la pente et l'exposition, la majorité des peuplements sont observés dans des dépressions, des fonds de vallée ou sur des plateaux, ces situations présentant des pentes faibles ou nulles auxquelles aucune exposition ne peut être associée. La gamme couverte par les peuplements étudiés est comprise entre 93 et 475 mètres d'altitude. En ce qui concerne la phytosociologie, les stations étudiées (26) relèvent de l'aulnaie alluviale (9), de l'aulnaie de source à *Carex remota* (3), de l'aulnaie marécageuse (5) et de chênaies pédonculées (9).

On peut considérer que l'échantillon de peuplements étudiés est représentatif des principaux types de station d'aulne, à savoir, par ordre d'importance décroissante :

- les forêts de terrasses alluviales : aulnaies à stellaire (*Stellario-Alnetum*) et chênaies pédonculées à bistorte (*Polygono-Quercetum*) ;
- les chênaies pédonculées à aulne des sols à "argile blanche" (*Alno-Quercetum*) ;
- les aulnaies marécageuses (divers *Alnetum*) ;
- les aulnaies des sources (*Carici remotae-Alnetum*).

Types de mesures réalisées

En vue de construire les tarifs de cubage, un échantillon de 210 arbres, abattus à l'occasion d'éclaircies ou de coupes rases, a été sélectionné au sein des 29 peuplements, actuellement traités en futaie ou en conversion de taillis sous futaie vers la futaie.

Les types et le nombre de mesures effectuées trouvent leur justification dans des méthodologies utilisées

² Cela revient à mesurer un arbre par surface de 10 ares de peuplement ou de placette d'inventaire (avec un minimum de deux arbres).

³ Région divisée elle-même en 3 sous-régions selon l'altitude (haute Ardenne, moyenne Ardenne et basse Ardenne).

⁴ Les sigles pédologiques correspondent au symbolisme utilisé lors de l'établissement et de la description de la carte des sols de la Belgique (Avril, 1987).

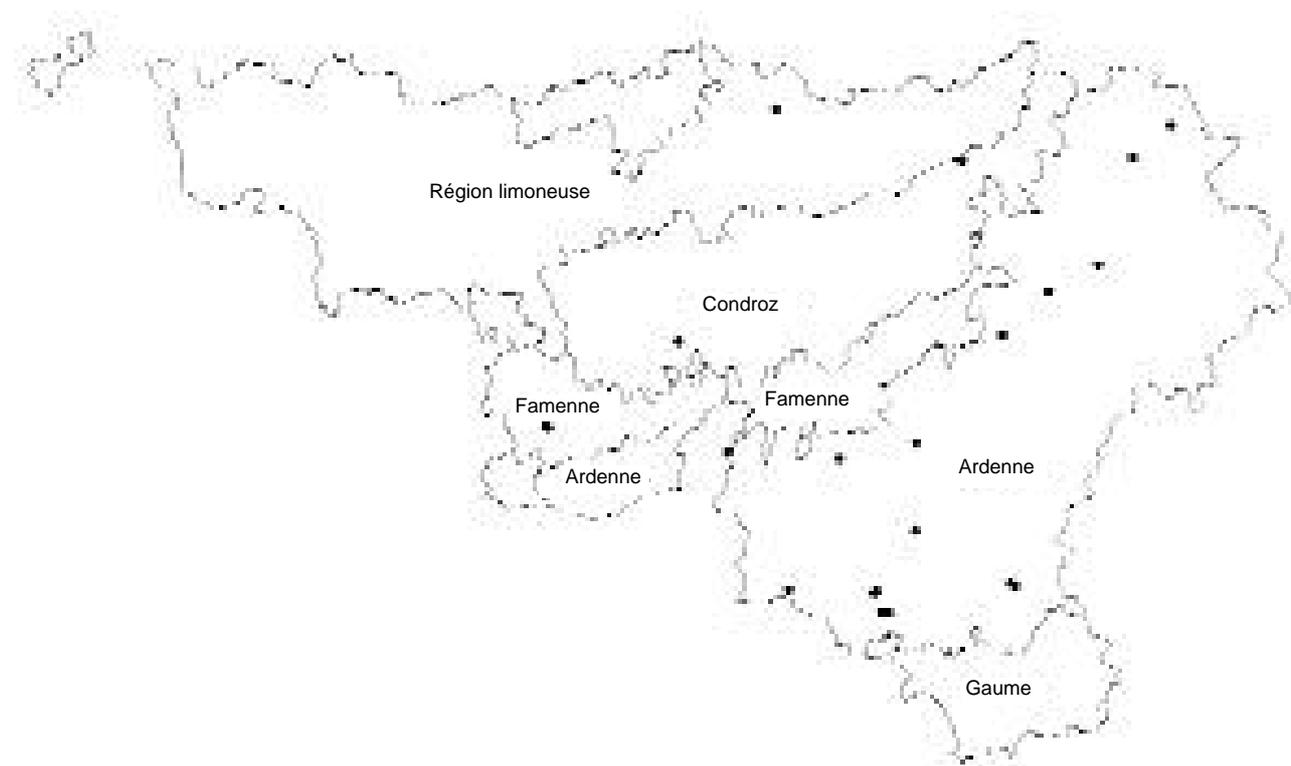


Figure 1. Localisation géographique des peuplements d'aulne glutineux étudiés — *Geographical location of black alder stands.*

lors d'études similaires réalisées pour une douzaine d'essences feuillues et résineuses (Palm, 1981 ; Palm, 1982 ; Dagnelie *et al.*, 1985).

Les informations récoltées relèvent d'un ensemble de variables qui peuvent être groupées de la manière suivante :

- celles nécessaires à la construction de tarifs de cubage (grosueur, niveau de mesure, hauteur totale, hauteurs de découpe et longueurs de billons) ;
- celles relatives au calcul éventuel de rapports dendrométriques ;
- celles relatives au peuplement (âge, hauteur dominante et sylviculture pratiquée).

Le **tableau 3** présente la nature et la signification des variables récoltées sur les arbres abattus ; seules certaines d'entre elles seront utilisées par la suite.

TRAITEMENT DES DONNÉES

Les différentes étapes du traitement concernent le calcul des volumes individuels des arbres à partir des données récoltées sur le terrain, la sélection des équations exprimant le volume ou d'autres variables dépendantes en fonction des variables explicatives les plus pertinentes, l'ajustement de ces équations aux données observées et la construction proprement dite des tables de cubage.

Par convention, l'ensemble des tableaux, graphiques et équations feront intervenir des circonférences qui se réfèrent au niveau de mesure de 1,3 m au-dessus du niveau du sol⁵.

Détermination des volumes

Les volumes des arbres abattus ont été calculés selon la méthode des billons successifs à l'aide de la formule de cubage du tronc de cône (Rondeux, 1993) :

$$v = \frac{L}{12\pi} (c_d^2 + c_f^2 + c_f \cdot c_d)$$

dans laquelle c_d et c_f représentent respectivement les circonférences de la base et du fin bout du billon mesuré, et L sa longueur.

Il a ainsi été possible de déterminer les volumes bois fort tige (v) correspondant au volume de la tige jusqu'à une circonférence limite fixée à 22 cm, de même que les volumes limités aux circonférences de

⁵ Au plan international, il est recommandé de prendre en compte le diamètre mesuré à 1,3 m au-dessus du niveau du sol. C'est par référence à l'usage belge que la circonférence (c) a été préférée.

Tableau 1. Données générales et dendrométriques concernant les 29 peuplements d'aune destinés à la construction des tarifs de cubage — *General and silvicultural data observed in sample plots used for tree volume table construction.*

Station	Localité	Région naturelle	Origine	Traitement	Âge (ans)	$h_{dom}^{(1)}$ (m)
14013	Trou de Bra	Basse Ardenne	Plantation	Futaie	13	13,75
14014	Trou de Bra	Basse Ardenne	Plantation	Futaie	15	13,75
14015	Trou de Bra	Basse Ardenne	Plantation	Futaie	15	10,13
14023	Herbeumont	Basse Ardenne	Naturel	Futaie	80	23,38
14024	Herbeumont	Basse Ardenne	Taillis	Taillis - Futaie	77	25,00
14025	Herbeumont	Basse Ardenne	Semis	Futaie	40	23,00
14028	Poupehan	Basse Ardenne	Plantation	Futaie	34	22,63
14040	Fellenne	Basse Ardenne	Semis	Futaie	41	22,25
14044	Herbeumont	Basse Ardenne	Naturel	Futaie	77	23,00
14057	Raeren	Basse Ardenne	Naturel	Futaie claire	86	21,60
14080	Coo	Basse Ardenne	Semis	Futaie	13	11,38
14087	Halma	Basse Ardenne	Taillis	Futaie	55	20,31
14091	Jauche	Région limoneuse	Plantation	Futaie	8	9,00
14099	Saint Hubert	Basse Ardenne	Naturel	Futaie	98	29,38
14115	Robechies	Famenne	Taillis balivé	Conversion TSF - Futaie (2)	84	22,53
14117	Forges	Basse Ardenne	Semis - Taillis	Futaie claire	112	23,25
14121	Witry	Moyenne Ardenne	Semis - Taillis	Taillis - Futaie	42	18,32
14122	Witry	Moyenne Ardenne	Taillis	Taillis	-	-
14123	Witry	Moyenne Ardenne	Taillis	Futaie	-	-
14129	Amonines	Moyenne Ardenne	Semis - Taillis	Taillis - Futaie	26	13,00
14130	Amonines	Moyenne Ardenne	Taillis	Futaie	62	18,75
14134	Robechies	Famenne	Semis	Futaie	78	26,90
14144	Jalhay	Basse Ardenne	Semis	Futaie	125	22,19
14147	Nassogne	Moyenne Ardenne	Naturel	Futaie	105	23,06
14149	Seraing	Condroz	Semis	Futaie	-	-
14150	Corenne	Condroz	Naturel	Futaie	52	23,75
14200	Froidchapelle	Famenne	Naturel	Groupe futaie	-	-
14201	Virelles	Famenne	Naturel	Groupe futaie	-	-
14202	Stave	Condroz	Semis	Futaie claire	-	-

(1) h_{dom} = hauteur dominante ; (2) TSF = taillis sous futaie.

60, 90 et 120 cm, dimensions les plus proches des découpes marchandes habituellement pratiquées.

$$v = a_0 + a_1 c^2 \quad (\text{eq. 1})$$

$$v = a_0 c^{a_1} \cdot h_{dom}^{a_2} \quad (\text{eq. 2})$$

Élaboration proprement dite des tarifs de cubage

$$v = a_0 + a_1 c + a_2 (c^2 h) \quad (\text{eq. 3}).$$

Trois types de tarif de cubage ont été construits par voie mathématique :

- un tarif à une entrée dont la variable explicative est la circonférence à 1,3 m de l'arbre ;
- un tarif paramétré à une entrée dont les variables explicatives sont la circonférence à 1,3 m de l'arbre et la hauteur dominante (paramètre relatif au peuplement) ;
- un tarif à deux entrées dont les variables explicatives sont la circonférence à 1,3 m et la hauteur totale de l'arbre.

Plusieurs ajustements ont été réalisés par la méthode des moindres carrés classique (après transformation logarithmique dans le cas du tarif paramétré) et parmi les équations testées nous avons retenu, par type de tarif, celles qui ont donné les meilleurs résultats :

Pour apprécier la qualité de l'ajustement des équations testées, nous avons eu recours aux paramètres statistiques suivants :

- le coefficient de détermination (R^2),
- l'écart-type résiduel (ECTR) et le coefficient de variation résiduelle (CVR)⁶.

En outre, pour juger de l'adéquation des modèles, nous avons aussi analysé les paramètres basés sur la grandeur, le signe et la répartition des résidus ($v_i - \hat{v}_i$) exprimés sous forme graphique en fonction des variables explicatives.

⁶ Le coefficient de variation résiduelle correspond à l'écart-type résiduel, exprimé en pourcentage de la moyenne.

Tableau 2. Données stationnelles récoltées — *Ecological data collected for each sample plot.*

N° de station(1)	Sigle pédologique	Humus	Altitude (m)	Topographie	Pente (degrés)	Exposition	Phytosociologie
14013	A-Gip	mull mésotrophe	300	Fond de vallée humide	0	-	Aulnaie marécageuse mésotrophe
14014	A-GDp	mull mésotrophe	302	Terrasse alluviale	0	-	Chênaie pédonculée à bistorte
14015	A-Gdp	mull mésotrophe	303	Terrasse alluviale, partie haute	0	-	Chênaie pédonculée à bistorte
14023	Gfxr	anmoor oligotrophe	378	Vallon sourceux	8	Ouest	Aulnaie à <i>Carex remota</i>
14024	Ggp2	anmoor mésotrophe	265	Terrasse alluviale humide	0	-	Aulnaie marécageuse mésotrophe
14025	Gfp	mull mésotrophe	280	Terrasse alluviale humide	0	-	Aulnaie à stellaire
14028	Agp	hydromull	200	Plaine alluviale	0	-	Aulnaie marécageuse mésotrophe
14040	Gfp	mull mésotrophe	168	Terrasse alluviale	0	-	Aulnaie alluviale à stellaire
14044	Gfp2	mull oligotrophe	280	Terrasse alluviale	0	-	Aulnaie à stellaire
14057	Gixr	moder	310	Dépression	0	-	Chênaie pédonculée à aulne
14080	A-Gep	mull mésotrophe	200	Terrasse alluviale	2	Sud	Chênaie pédonculée à bistorte
14087	uEfp	hydromull mésotrophe	200	Terrasse alluviale humide	0	-	Aulnaie marécageuse mésotrophe
14091	Aep	mull mésotrophe	93	Terrasse alluviale	0	-	Aulnaie à stellaire
14099	Gfp	hydromull	317	Fond de vallée humide	0	-	Aulnaie à <i>Carex remota</i>
14115	Edp	mull mésotrophe	245	Petite terrasse alluviale	0	-	Aulnaie à stellaire
14117	-	moder	305	Versant	-	-	Chênaie pédonculée à aulne
14121	Ehx	moder	475	Versant	3	Sud-Est	Chênaie pédonculée à aulne
14122	Efx	hydromoder	475	Haut de versant	3	Sud-Ouest	Chênaie pédonculée à aulne
14123	Gfp	hydromull	467	Terrasse alluviale humide	2	Sud-Ouest	Aulnaie à stellaire
14129	Eix	hydromull	425	Mi-versant, replat	2	Ouest	Aulnaie marécageuse mésotrophe
14130	Gix	mull moder	440	Plateau en pente	2	Nord-Ouest	Chênaie pédonculée à aulne
14134	Ecp2	mull mésotrophe	230	Terrasse alluviale	1	-	Aulnaie à stellaire
14144	Gfp2	mull mésotrophe	265	Terrasse alluviale	0	-	Aulnaie à stellaire
14147	Gixr	hydromoder	400	Vallon sourceux	-	-	Chênaie pédonculée à aulne
14149	Gep	mull mésotrophe	95	Terrasse alluviale sourceuse	4	Nord-Ouest	Aulnaie à <i>Carex remota</i>
14150	Aia/Eia	hydromull mésotrophe	282	Terrasse alluviale humide	0	-	Aulnaie à stellaire

(1) Trois stations (14200, 14201 et 14202) sont absentes du tableau et n'ont pas fait l'objet d'une étude écologique.

Les tarifs résultant des équations 1 et 3 montrent que la variance des volumes augmente avec la grosseur des arbres, ce qui justifie l'utilisation d'une pondération. Cela ne s'est pas avéré nécessaire pour l'équation 2. La régression pondérée consiste à minimiser la quantité :

$$\sum_{i=1}^n w_i (v_i - \hat{v}_i)^2$$

où v_i et \hat{v}_i sont respectivement les valeurs du volume mesuré et celles du volume estimé par le tarif et w_i le coefficient de pondération.

Pour déterminer ces derniers, nous avons estimé la variance du volume au sein de chacune des classes de circonférence et tenté d'exprimer son évolution en fonction des variables explicatives (Rondeux, 1993). Les modèles de variance résiduelle retenus sont de la forme suivante :

$$\log s_r^2 = -10,229 + 2,050 \log c^2$$

et $\log s_r^2 = -12,130 + 1,824 \log (c^2h)$,

ce qui signifie que la variance s_r^2 est proportionnelle à $(c^2)^{2,050}$ dans le premier cas et à $(c^2h)^{1,824}$ dans le second. En d'autres termes, le poids w_i affecté à l'arbre i correspond aux quantités :

$$(c_1^2)^{-2,050} \quad \text{pour le tarif à une entrée}$$

et $(c_1^2 h_1)^{-1,824}$ pour le tarif à deux entrées.

Le **tableau 4** présente successivement, pour les trois tarifs de cubage : la forme explicite de la relation entre le volume bois fort tige (v , en m^3) et les variables explicatives ainsi que les valeurs du coefficient de détermination (R^2), de l'écart-type résiduel (ETCR) et du coefficient de variation résiduelle (CVR). Quant au

domaine de validité des tarifs, il est identifié au moyen de la répartition des arbres de l'échantillon en fonction des classes de grosseur (c) et des classes de hauteur totale (h) (**tableau 5**).

Les valeurs tirées des relations ci-avant font l'objet des **tableaux 6** (tarif à deux entrées) et **7** (tarif à une entrée) uniquement. Dans les limites de validité de l'échantillon, ceux-ci expriment les volumes bois fort tige (v , en m^3) estimés en fonction des variables explicatives : la hauteur totale et/ou la circonférence à 1,3 m. En dehors du fait qu'il présente une meilleure précision, le tarif à deux entrées a un caractère plus universel mieux adapté à la variabilité des différentes formes de peuplements d'aulne généralement rencontrés.

Volumes associés à différentes découpes

Les arbres abattus ayant aussi été cubés en fonction des différentes découpes déjà évoquées (60, 90 et 120 cm de circonférence), les volumes respectifs ont aussi été rapportés au volume bois fort tige (v). Des relations ont été ensuite ajustées pour permettre l'estimation ultérieure de proportions de volumes en fonction de découpes fixées (PV60, PV90, PV120) à partir du volume bois fort tige préalablement estimé.

Tableau 3. Mesures effectuées sur les arbres échantillonnés — *Data collected on the felled sample trees.*

Variables correspondant aux mesures	Signification
$c_0, c_{30}, c_{50}, c_{130}, c_{150}, c_{250}, c_{350}, \dots, c_{1100}, c_{1300}, c_{1500}, \dots, c_{2900}, \dots$	Circonférences mesurées à des niveaux ou des longueurs de référence le long de l'arbre [c_x (= circonférence à x cm de hauteur)]
$h_{22}, h_{60}, h_{90}, h_{120}$	Hauteur ou longueur, le long de la grume, correspondant à l'apparition d'une circonférence dont la valeur est fixée à 22, 60, 90 et 120 cm
h_0, c_0, d_0	Hauteur de souche, circonférence de la souche, diamètre de la souche
$h_{0,5c}$	Hauteur d'apparition de la circonférence égale à la moitié de la circonférence mesurée à 1,3 m au-dessus du niveau du sol
$c_{0,5h}$	Circonférence localisée à une hauteur égale à la moitié de la hauteur totale (h)
$c_{0,5} h_{22}$	Circonférence localisée à un niveau égal à la moitié de la hauteur de découpe 22 cm (h_{22} = hauteur bois fort)

Tableau 4. Équations et paramètres statistiques des trois types de tarifs de cubage — *Volume equations and statistical parameters: coefficient of determination, residual standard deviation and coefficient of residual variation.*

Type de tarif	Forme explicite de la relation	R^2	ETCR (m^3)	CVR (%)
Une entrée	$v = -0,037532 + 0,000082146 c^2$	0,97	0,095	16,0
Une entrée paramétré	$v = (1,243 [10^{-6}]) (c^{2,045008}) (h_{\text{dom}}^{1,257929})$	0,97	0,093	18,7
Deux entrées	$v = -0,034080 + 0,001152 c + 0,000003215 (c^2h)$	0,98	0,07	11,8

Tableau 5. Répartition des arbres en fonction de la circonférence à 1,3 m (c) et de la hauteur totale (h) — *Repartition of black alder sample trees by girth classes and height classes.*

c (cm)	h (m)												Total
	< 7,9	8-9,9	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	
< 29,5	1	8	8	4	-	-	-	-	-	-	-	-	20
29,5 – 39,5	-	-	5	9	1	-	1	-	-	-	-	-	18
39,5 – 49,5	-	-	1	5	1	3	5	3	1	-	-	-	22
49,5 – 59,5	-	-	-	-	2	3	6	5	2	-	-	-	15
59,5 – 69,5	-	-	-	-	-	8	2	7	3	1	-	-	22
69,5 – 79,5	-	-	-	-	-	2	7	4	4	-	-	-	18
79,5 – 89,5	-	-	-	-	-	-	5	6	6	-	-	-	16
89,5 – 99,5	-	-	-	-	-	1	2	9	1	-	1	-	21
99,5 – 109,5	-	-	-	-	-	-	3	5	3	2	1	-	10
109,5 – 119,5	-	-	-	-	-	-	-	6	6	3	-	-	14
119,5 – 129,5	-	-	-	-	-	-	-	4	6	1	-	-	11
129,5 – 139,5	-	-	-	-	-	-	-	5	2	2	3	-	11
139,5 – 149,5	-	-	-	-	-	-	2	1	2	-	1	-	6
149,5 – 159,5	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1	-	2	4
159,5 – 169,5	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	2
> 169,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Total	1	8	14	18	4	17	33	55	42	10	6	2	210

Tableau 6. Évolution du volume bois fort tige (v, en m³) estimé en fonction de la circonférence à 1,3 m (c, en cm) et de la hauteur totale (h, en m) — *Volume to upper girth limit of 22 cm, in cubic meter as a function of girth at 1.3 m (c, in centimetres) and total height (h, in meters).*

c (cm)	h (m)											
	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
25	0,011	0,015	0,019	0,023	0,027	0,031	0,035	0,039	0,043	0,047	0,051	0,055
35	0,038	0,046	0,054	0,061	0,069	0,077	0,085	0,093	0,101	0,109	0,117	0,124
45	0,070	0,083	0,096	0,109	0,122	0,135	0,148	0,161	0,174	0,187	0,200	0,213
55	0,107	0,127	0,156	0,165	0,185	0,204	0,224	0,243	0,263	0,282	0,302	0,321
65	0,149	0,177	0,204	0,231	0,258	0,285	0,312	0,340	0,367	0,394	0,421	0,448
75	0,197	0,233	0,269	0,306	0,342	0,378	0,414	0,450	0,486	0,523	0,559	0,595
85	0,250	0,296	0,343	0,389	0,435	0,482	0,528	0,575	0,621	0,668	0,714	0,761
95	0,307	0,366	0,424	0,482	0,540	0,598	0,656	0,714	0,772	0,830	0,888	0,946
105	0,370	0,441	0,512	0,583	0,654	0,725	0,796	0,867	0,938	1,008	1,079	1,150
115	0,439	0,524	0,609	0,694	0,779	0,864	0,949	1,034	1,119	1,204	1,289	1,374
125	0,512	0,612	0,713	0,813	0,914	1,014	1,115	1,215	1,316	1,416	1,516	1,617
135	0,590	0,707	0,825	0,942	1,059	1,176	1,293	1,410	1,528	1,645	1,762	1,879
145	0,674	0,809	0,944	1,079	1,214	1,350	1,485	1,620	1,755	1,890	2,026	2,161
155	0,762	0,917	1,071	1,226	1,380	1,535	1,689	1,844	1,998	2,153	2,307	2,462
165	0,856	1,031	1,206	1,381	1,556	1,732	1,907	2,082	2,257	2,432	2,607	2,782
175	0,955	1,152	1,349	1,546	1,743	1,940	2,137	2,334	2,531	2,727	2,924	3,121
185	1,059	1,279	1,499	1,720	1,940	2,160	2,380	2,600	2,820	3,040	3,260	3,480

Rapport à la découpe 60 cm. Pour estimer la relation entre le rapport (PV60) du volume correspondant à la découpe 60 cm et le volume bois fort tige, il s'est avéré que la fonction de Mitscherlich à trois paramètres (Debouche, 1977) était celle qui s'ajustait le mieux aux données observées.

Cette équation s'écrit sous la forme :

$$PV60 = PV60_{MAX} * \{1 - \exp[-(c - c_{MIN}) / ETAL]\}$$

dans laquelle PV60_{MAX} représente la valeur maximale que pourrait atteindre le rapport, tandis que les

Tableau 7. Évolution en fonction de la circonférence à 1,3 m (c , en cm) du volume bois fort tige et des proportions, par rapport à ce dernier, des volumes correspondant aux découpes 60 cm (PV60), 90 cm (PV90) et 120 cm (PV120) — *Volume to upper girth limit of 22 cm (v) and volume ratio (to the volume v) corresponding to top girth of 60 cm (PV60), 90 cm (PV90) and 120 cm (PV120) as a function of the girth at 1.3 m.*

c (cm)	v (m ³)	PV60	PV90	PV120
25	0,014	0,000	0,000	0,000
35	0,063	0,000	0,000	0,000
45	0,129	0,000	0,000	0,000
55	0,211	0,000	0,000	0,000
65	0,310	0,349	0,001	0,000
75	0,425	0,595	0,041	0,000
85	0,556	0,745	0,133	0,000
95	0,704	0,838	0,262	0,000
105	0,868	0,894	0,407	0,049
115	1,049	0,929	0,548	0,123
125	1,246	0,950	0,671	0,211
135	1,460	0,963	0,768	0,314
145	1,690	0,971	0,839	0,434
155	1,936	0,976	0,886	0,571
165	2,199	0,979	0,915	0,728
175	2,478	0,981	0,932	-
185	2,774	0,982	0,941	-

Les valeurs en italiques sortent du domaine de validité des tarifs.

paramètres c_{MIN} et ETAL expriment respectivement la localisation du début de la relation sur l'axe des circonférences et l'étalement de la courbe sur ce même axe. L'ajustement a donné lieu aux valeurs suivantes :

PV60 _{MAX} = 0,984182	c_{MIN} = 56,01985	ETAL = 20,47521
--------------------------------	-----------------------------	-----------------

[$R^2 = 0,96$; ETCR = 0,047 ; CVR = 6,2 %].

La **figure 2** illustre l'évolution du rapport (PV60) en fonction de la circonférence à 1,3 m.

Rapport à la découpe 90 cm. Quant à la relation entre le rapport (PV90) du volume correspondant à la découpe 90 cm et le volume bois fort tige, elle a fait l'objet d'un ajustement au moyen de la fonction de Gauss Modifiée à trois paramètres (Debouche, 1977) :

$$PV90 = PV90_{\text{MAX}} * \{1 - \exp[-(c - c_{\text{MIN}})^2 / (ETAL)^2]\}$$

dans laquelle PV90_{MAX} représente la valeur maximale que pourrait atteindre le rapport, tandis que les paramètres c_{MIN} et ETAL, représentent respectivement la localisation du début de la relation sur l'axe des

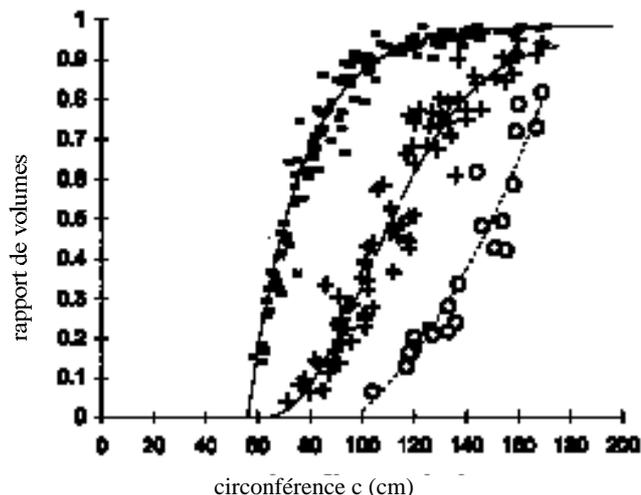


Figure 2. Évolution en fonction des circonférences à 1,3 m des proportions observées des volumes à différentes découpes [PV60 (-), PV90 (+) et PV120 (o)] par rapport au volume bois fort tige et relations ajustées correspondantes — *Observed [PV60 (-), PV90 (+) et PV120 (o)] and estimated volume ratio values over c (girth at 1.3 m).*

circonférences et l'étalement de la courbe sur ce même axe.

Les valeurs suivantes ont été obtenues pour les trois paramètres:

PV90 _{MAX} = 0,949015	c_{MIN} = 63,31861	ETAL = 55,69258
--------------------------------	-----------------------------	-----------------

[$R^2 = 0,93$; ETCR = 0,074 ; CVR = 14,9 %].

La **figure 2** illustre l'évolution du rapport (PV90) en fonction de la circonférence à 1,3 m.

Rapport à la découpe 120 cm. Par le fait même de ce rapport impliquant la prise en compte d'arbres très gros, l'échantillon est beaucoup plus réduit. Pour exprimer l'évolution du rapport (PV120) en fonction de l'une ou l'autre variable explicative, une équation beaucoup plus simple que les précédentes s'est avérée satisfaisante. Elle s'écrit sous la forme :

$$PV120 = -0,186958 + 0,0000002036 c^3$$

[$R^2 = 0,89$; ETCR = 0,077 ; CVR = 20,1 %].

L'évolution de ce rapport en fonction de la circonférence à 1,3 m (c) fait l'objet de la **figure 2**.

Le **tableau 7** présente l'évolution des volumes bois fort tige (v , en m³) issus du tarif à une entrée et les différents volumes, exprimés en valeur relative par rapport au volume bois fort tige et correspondant aux découpes 60 cm (PV60), 90 cm (PV90) et 120 cm (PV120) en fonction de la circonférence.

COMPARAISON AVEC DES TARIFS ÉTRANGERS

La discussion des résultats obtenus s'appuie sur la comparaison des volumes bois fort tige calculés au moyen du tarif de cubage à deux entrées proposé ci-avant et ceux relatifs à l'aulne en Hongrie, en Pologne et en Allemagne.

Cette comparaison est réalisée, pour une sélection de circonférences à 1,3 m, entre les volumes obtenus à l'aide du tarif de cubage à deux entrées polonais (Radwanski, 1974), hongrois (Sopp, 1974), allemand (Schwappach, 1902) et belge. Pour les tarifs étrangers, les circonférences ont été déduites des diamètres considérés à 1,3 m au-dessus du niveau du sol. Exception faite pour le tarif allemand, ils fournissent le volume total sur écorce de la tige depuis la base jusqu'au sommet de la tige et non jusqu'à 22 cm de circonférence, cette différence peut néanmoins être considérée comme négligeable. Le **tableau 8** présente, en fonction des circonférences à 1,3 m (c) et des

hauteurs totales (h) sélectionnées, les volumes bois fort tige obtenus respectivement en Belgique (B), Pologne (P), Hongrie (H) et Allemagne (A).

Les circonférences réelles lues dans les tarifs de cubage à deux entrées polonais, hongrois et allemand sont indiquées entre parenthèses en regard des volumes bois fort tige correspondants et les volumes imprimés en gras indiquent les estimations appartenant au domaine de validité du tarif à deux entrées belge (circonférences et hauteurs comprises dans l'amplitude de l'échantillon).

Pour ce qui concerne la comparaison entre les volumes (v, m³) observés pour les tarifs à deux entrées polonais, hongrois, allemand et belge, les domaines de validité et le comportement des volumes, en termes de valeurs et d'évolution, sont très proches. Cependant, d'une part, le domaine de validité du tarif de cubage hongrois semble présenter une amplitude plus grande et, d'autre part, les tarifs de cubage allemand et hongrois présentent, à partir des circonférences égales à 125 cm, des valeurs de volume supérieures de l'ordre de 15 à 20 %.

Tableau 8. Comparaison des volumes bois fort tige obtenus au moyen de différents tarifs à deux entrées (B = Belgique, P = Pologne, H = Hongrie et A = Allemagne) pour une sélection de valeurs de circonférences à 1,3 m (c) et de hauteur totale (h) — *Belgian (B) tree volume table expressed as a function of two variables (girth at 1.3 m and total height), compared with Polish (P), Hungarian (H) and German (A) tables.*

c (1) (cm)	Tarif	h (m)								
		10	12	14	16	18	20	22	24	26
45	B	0,083 (2)	0,096	0,109	0,122	0,135	0,148	0,161	0,174	<i>0,187</i>
(44)	P	-	0,092	0,108	0,123	0,139	0,154	-	-	-
(44)	H	0,081	0,097	0,112	0,128	0,143	0,159	0,174	-	-
(44)	A	-	-	0,105	0,120	0,140	-	-	-	-
75	B	<i>0,233 (3)</i>	<i>0,269</i>	<i>0,306</i>	0,342	0,378	0,414	0,450	0,486	<i>0,523</i>
(75)	P	-	-	-	0,337	0,380	0,422	0,465	0,507	0,550
(75)	H	0,24	0,28	0,32	0,37	0,41	0,46	0,50	0,54	0,59
(75)	A	-	-	-	0,35	0,40	0,44	0,48	0,52	0,55
105	B	<i>0,441</i>	<i>0,512</i>	<i>0,583</i>	<i>0,654</i>	0,725	0,796	0,867	0,938	1,008
(107)	P	-	-	-	-	-	0,796	0,878	0,958	1,038
(107)	H	-	0,58	0,66	0,75	0,83	0,92	1,00	1,09	1,18
(107)	A	-	-	-	-	-	-	0,92	1,04	1,11
125	B	<i>0,612</i>	<i>0,713</i>	<i>0,813</i>	<i>0,914</i>	1,014	1,115	1,215	1,316	1,416
(126)	P	-	-	-	-	-	-	1,177	1,285	1,394
(126)	H	-	-	0,93	1,05	1,17	1,28	1,40	1,52	1,64
(126)	A	-	-	-	-	-	-	-	1,52	1,64
155	B	<i>0,917</i>	<i>1,071</i>	<i>1,226</i>	<i>1,380</i>	<i>1,535</i>	1,689	1,844	1,998	2,153
(157)	P	-	-	-	-	-	-	-	1,931	2,092
(157)	H	-	-	-	-	1,87	2,05	2,24	2,42	2,60
-	A	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(1) Les valeurs entre parenthèses sont des circonférences obtenues par conversion des diamètres utilisés comme entrées dans les tarifs étrangers.

(2) Les volumes imprimés en gras relèvent du domaine de validité du tarif belge à deux entrées.

(3) Les valeurs en italiques sortent du domaine de validité du tarif.

CONCLUSIONS

Dans le cadre plus global d'une étude effectuée sur l'aulne glutineux en Belgique méridionale, trois tarifs de cubage individuels ont été construits sur la base de 210 arbres abattus mesurés dans 29 peuplements d'aulne traités en futaie et échantillonnés dans la partie sud de la Belgique. Les volumes bois fort tige (v , m³) sont exprimés au moyen de tarifs à une entrée [$v = f(c)$], à une entrée paramétré [$v = f(c, h_{\text{dom}})$], et à deux entrées [$v = f(c, h)$]. Ils répondent respectivement aux équations :

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

$$v = (1,243 [10^{-6}]) (c^{2,045008}) (h_{\text{dom}}^{1,257929}),$$

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

Des rapports entre les volumes jusqu'aux découpes de 60, 90 et 120 cm de circonférence et les volumes bois fort tige ont également été calculés et mis en relation avec la circonférence à 1,3 m.

Remerciements

Les auteurs adressent leurs remerciements à Messieurs J.P. Morimont et M. Delisée qui ont assuré la récolte des données de base nécessaires à cette étude. Ils tiennent également à remercier le personnel du Ministère de la Région Wallonne (Direction générale des ressources naturelles et de l'environnement – Division de la nature et des forêts), et spécialement les ingénieurs forestiers et l'ensemble des agents techniques, ainsi que les propriétaires privés et leurs régisseurs, qui les ont aidés dans la recherche des peuplements et la récolte des données sur le terrain.

Bibliographie

- Avril P. (1987). *La légende de la carte des sols de Belgique*. Service de Science du Sol, Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, 26 p.
- Claessens H. (1990). L'aulne glutineux (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) une essence forestière oubliée. *Silva Belgica* 97 (2), p. 25–33.
- Claessens H., Thibaut A. (1994). Où peut-on cultiver l'aulne glutineux avec succès ? *Silva Belgica* 101 (2), p. 7–12.
- Dagnelie P., Palm R., Rondeux J., Thill A. (1985). *Tables de cubage des arbres et des peuplements forestiers*. Gembloux, Belgique : Les Presses agronomiques de Gembloux, 148 p.
- Dagnelie P., Palm R., Rondeux J., Thill A. (1988). *Tables de production relatives à l'épicéa commun*. Gembloux, Belgique : Les Presses agronomiques de Gembloux, 124 p.

- Debouche C. (1977). *Application de la régression non linéaire à l'étude et à la comparaison de courbes de croissance longitudinale*. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux, Belgique, 304 p.
- Palm R. (1981). *Contribution méthodologique au cubage des arbres et à la construction de tarifs de cubage et d'assortiments*. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux, Belgique, 247 p. + annexes.
- Palm R. (1982). Influence de la formule de cubage et de la longueur des billons sur la détermination du volume des arbres abattus. *Ann. Sci. For.* 39, p. 231–238.
- Radwanski B. (1974). *Tablice miazszosci i zbiezystosci czesci strzaly dla olszy*. Instytutu Badawczego Lesnictwa, Prace, nr 469, 234 p.
- Rondeux J. (1993). *La mesure des arbres et des peuplements forestiers*. Gembloux, Belgique : Les Presses agronomiques de Gembloux, 521 p.
- Rondeux J., Thibaut A. (1996). *Tables de production relatives au douglas*. Gembloux, Belgique : Les Presses agronomiques de Gembloux, 152 p.
- Schwappach A. (1902). Erle. Massentafel. In : *Hilfstabellen für die Forsteinrichtung. Teil II*. Stuttgart, Deutschland : Landesforstverwaltung Baden-Württemberg.
- Scohy JP. (1990a). L'aulne glutineux (1ère partie). *Silva Belgica* 97 (1), p. 47–52.
- Scohy JP. (1990b). L'aulne glutineux (2ème partie). *Silva Belgica* 97 (2), p. 35–40.
- Sopp L. (1974). *Fatömeg-szamitási tablatatok*. Budapest : Mezogazdasági Kiado, 419 p.

(15 réf.)

Bibliographie non référencée

- Dagnelie P., Rondeux J., Thill A. (1969). Étude dendrométrique du frêne commun (*Fraxinus excelsior* L.). *Bull. Rech. Agron. Gembloux* 4, p. 378–410.
- Dagnelie P., Rondeux J., Thill A. (1976). *Tables dendrométriques*. Gembloux, Belgique : Les Presses agronomiques de Gembloux, 128 p.
- In K., Rondeux J., Thill A. (1972). Étude dendrométrique de l'érable sycomore (*Acer pseudoplatanus* L.) et du merisier (*Prunus avium* L.). *Bull. Rech. Agron. Gembloux* 7, p. 134–190.
- Rondeux J. (1973). Principes de construction des tarifs de cubage et de traitement automatique d'observations dendrométriques. *Bull. Soc. R. For. Belg.* 80, p. 165–187.
- Thill A., Palm R. (1975). Étude dendrométrique du chêne rouge d'Amérique (*Quercus borealis* Michx.). *Bull. Rech. Agron. Gembloux* 10, p. 321–366.

- Thill A., Palm R. (1975). Étude dendrométrique de l'épicéa commun (*Picea abies* (L.) Karst.). *Bull. Rech. Agron. Gembloux* **10**, p. 321–366.
- Thill A., Palm R. (1979). Étude dendrométrique des chênes indigènes (*Quercus robur* L. et *Quercus petraea* (Mattuschka) Lieblein). *Bull. Rech. Agron. Gembloux* **14**, p. 267–284.
- Thill A., Palm R. (1980). Étude dendrométrique des bouleaux indigènes (*Betula pendula* Roth et *Betula pubescens* Ehrh.). *Bull. Rech. Agron. Gembloux* **15**, p. 257–272.
- Thill A., Palm R. (1983). Étude dendrométrique du douglas (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). *Bull. Rech. Agron. Gembloux* **18**, p. 25–44.
- Thill A., Palm R. (1983). Étude dendrométrique du pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.). *Bull. Rech. Agron. Gembloux* **18**, p. 117–135.
- Thill A., Palm R. (1983). Étude dendrométrique des ormes (*Ulmus campestris* L. et *Ulmus montana* With.). *Bull. Rech. Agron. Gembloux* **18**, p. 241–256.
- Thill A., Palm R. (1984). Étude dendrométrique des mélèzes (*Larix decidua* Mill., *Larix eurolepis* A. Henry et *Larix leptolepis* Gord.). *Bull. Rech. Agron. Gembloux* **18**, p. 241–256.

(12 réf.)