

# CONSTRUCTION D'UN TARIF DE CUBAGE À L'AIDE D'UN MICRO-ORDINATEUR

C. OTOUL - J. RONDEUX

L'impact actuel des micro-ordinateurs dans de nombreux secteurs d'activités de notre société est considérable. Le monde forestier, quoique plus lent à s'imprégner des techniques de l'informatique, n'échappe pas au phénomène.

S'il est incontestable que « l'ordinateur personnel », de plus en plus à la portée des utilisateurs, est appelé à rendre un nombre considérable de services au forestier dans la réalisation de ses tâches d'administration et de gestion, le logiciel forestier est cependant pratiquement inexistant et beaucoup d'efforts doivent encore être accomplis dans cette voie (Vasievich, 1982), en vue de rentabiliser l'utilisation de la micro-informatique. La difficulté réside moins dans l'apprentissage de la programmation que dans la définition des objectifs poursuivis, la manière de les atteindre et le souci d'offrir à l'utilisateur un logiciel d'emploi aisé et correspondant à ses aspirations. La variété des objectifs et des besoins ou des conceptions en matière de gestion forestière, par exemple, est en effet un frein à la mise en œuvre d'un système informatique universel.

Par contre, dans certains problèmes ou sujets relatifs à l'élaboration d'outils relevant davantage de la compétence des scientifiques, rien n'empêche de concevoir un ensemble de programmes généraux pouvant intéresser un grand nombre d'utilisateurs. C'est déjà dans cet esprit que nous avons, à diverses reprises, proposé des démarches qui visaient à informatiser la construction des tarifs de cubage (Rondeux, 1973 b), de modèles de gestion (Rondeux, 1973 a, 1974, 1975, 1979) ou de l'exploitation de données d'inventaire (Grayet *et al.*, 1979 ; Rondeux, 1972).

En nous appuyant sur des recherches menées depuis une vingtaine d'années à la Faculté des Sciences agronomiques de l'État à Gembloux dans le domaine du cubage (Dagnelle *et al.*, 1985) et de la production de la plupart de nos essences forestières<sup>(1)</sup>, nous avons cru opportun de proposer une méthodologie simplifiée de construction de tarif ou de table de cubage à l'usage des gestionnaires ou propriétaires forestiers disposant, ou étant sur le point de disposer, de petits moyens informatiques.

Notre propos s'adresse plus particulièrement à ceux qui souhaiteraient construire des tarifs de cubage « locaux » adaptés à leurs peuplements et à leurs besoins ou qui voudraient tester la confiance à accorder aux tarifs plus généraux susceptibles d'être utilisés.

Dans les lignes qui suivent, nous montrons comment envisager la construction « assistée » ou en mode interactif<sup>(2)</sup> d'un tarif ou d'une table de cubage par micro-ordinateur. Après avoir défini les

(1) Recherches encouragées et financées par l'IRSI-A.

(2) Au sens où les programmes que nous avons mis au point guident l'utilisateur en lui indiquant, pas à pas, la marche à suivre par l'intermédiaire d'instructions affichées à l'écran du micro-ordinateur.

grandes lignes méthodologiques de la construction (ci-dessous), nous présentons le logiciel d'élaboration du tarif quant à sa conception et à sa structure (page 43). Nous traitons ensuite un exemple concret, depuis la récolte des données jusqu'à l'élaboration, sous la forme tabulaire, du tarif (page 45). Nous terminerons par quelques conclusions et perspectives d'avenir (page 47).

## PRINCIPES MÉTHODOLOGIQUES

### Le concept de tarif de cubage

Un tarif de cubage est un tableau chiffré, une formule ou encore un graphique (Bouchon, 1974), qui fournit le volume d'un arbre en fonction de variables facilement mesurables telles que la circonférence à 1,5 m du sol, la hauteur totale des arbres ou encore un paramètre relatif au peuplement ou aux milieux de croissance comme la hauteur dominante, l'altitude, etc... On parle de tarifs à une entrée lorsque le volume est exprimé en fonction de la seule circonférence à hauteur d'homme et à deux entrées lorsqu'il est exprimé en fonction de la circonférence et de la hauteur totale ou de toute autre hauteur individuelle.

Lorsque le volume est exprimé en fonction d'une variable propre à l'arbre et d'une variable propre au peuplement, on définit alors des tarifs paramétrés en fonction de cette dernière variable, la hauteur dominante, par exemple.

Enfin, on peut envisager différents types de volumes sur ou sous écorce : le volume bois fort tige (limité à une découpe en circonférence de 22 cm) et les volumes jusqu'à des découpes définies en grosseur ou en longueur de tige.

Les tarifs de cubage sont avant tout utilisés en vue de la commercialisation des produits ligneux, de la gestion des peuplements forestiers, de l'estimation de leur valeur et d'études axées sur la détermination de la biomasse.

Ils ne sont en principe applicables que dans la zone couverte par l'échantillon d'arbres ayant servi de base aux mesures.

### La récolte des données

Les principales données nécessaires à la construction d'un tarif de cubage sont habituellement, pour des raisons de facilité et de précision, récoltées sur arbres abattus et concernent des grosseurs (circonférences ou diamètres) mesurées à divers niveaux ainsi que des hauteurs individuelles. D'autres données à caractère dendrométrique et écologique peuvent évidemment aussi être récoltées.

On retiendra que le nombre de circonférences à mesurer est largement fonction du degré de précision souhaité et qu'il est judicieux, eu égard à la forme générale du profil d'un arbre (Palm, 1982), d'augmenter le nombre de mesures dans les premiers mètres du fût. On veillera à choisir des arbres dans toutes les catégories de grosseurs et de hauteurs, en insistant sur la représentation des catégories extrêmes. Un compromis acceptable entre la précision et la rapidité des mesures est de considérer un nombre sensiblement identique d'arbres par catégories de grosseur.

### La construction proprement dite du tarif

Les mesures de circonférences effectuées à divers niveaux de hauteur sur la tige permettent de déterminer des volumes partiels ou des volumes de billons assimilés à des troncs de cône. La sommation de ces volumes donne lieu à autant de types de volumes que l'on peut définir de

niveaux différents. Par exemple, on pourra calculer le volume de la tige jusqu'à une découpe fixée en circonférence ou le volume relatif à telle ou telle longueur de tige.

On procède ensuite à un ajustement statistique portant sur les relations existant entre les volumes calculés (variable « dépendante ») et les diverses variables susceptibles d'expliquer leur variabilité (variables « explicatives »), soit le plus souvent la circonférence à hauteur d'homme et la hauteur totale des arbres.

## LE LOGICIEL D'ÉLABORATION DU TARIF DE CUBAGE

Pour faciliter la construction d'un tarif, nous avons conçu un ensemble de programmes très souples pouvant fonctionner sur la majorité des micro-ordinateurs actuellement disponibles sur le marché.

Le traitement des données par micro-ordinateur comporte trois étapes complémentaires qui sont respectivement :

- l'enregistrement des données récoltées et la détermination des volumes des arbres échantillonnés (à noter que cette phase vient d'être expérimentée avec succès sur le terrain avec un micro-ordinateur portable ; Rondeux *et al.*, 1987) ;
- l'ajustement par voie statistique d'une équation de cubage ;
- la présentation des résultats sous forme tabulaire.

Pour remplir ces fonctions, nous avons rédigé trois programmes en langage Basic. Ils sont utilisables par un micro-ordinateur Apple II ainsi que par un micro-ordinateur IBM PC/XT. Ces programmes sont brièvement présentés ci-après quant à leur objectif, au contenu des fichiers et à leur utilisation<sup>(3)</sup>.

Nous noterons au passage que l'intervention du forestier n'est réellement indispensable qu'à deux stades :

- la localisation des mesures en grosseur préalablement à la réalisation de celles-ci et à leur enregistrement ;
- le choix de l'équation de cubage.

### Le programme « Volume »

Le programme « volume » permet d'enregistrer sur disquette, dans un fichier à accès direct, les diverses données récoltées pour chaque arbre, à savoir :

- numéro d'identification de l'arbre,
- circonférences à 1,3 et/ou à 1,5 m (en cm),
- hauteur du bois fort de la tige (en m),
- hauteur totale de la tige (en m),
- niveaux de hauteur (en m) auxquels les mesures en circonférence sont effectuées et valeurs de celles-ci (au maximum 29 niveaux et circonférences).

Pour utiliser ce programme, le forestier se référera aux directives affichées à l'écran. Il a le

(3) Les personnes intéressées par le logiciel ou désireuses de se le procurer sont invitées à prendre contact avec Monsieur J. Rondeux - Unité de Gestion et d'Économie forestières - Faculté des Sciences agronomiques - 5800 GEMBLOUX (Belgique).

choix entre plusieurs fonctions structurées sous la forme d'un menu accessible au moyen des codes (chiffres de 0 à 6) suivants :

0. Initialisation du fichier (remise à zéro) ;
1. Calcul et enregistrement du volume de l'arbre ;
2. Consultation du fichier par un numéro d'enregistrement ;
3. Édition du contenu du fichier ;
4. Modification d'enregistrement ;
5. Recherche des données d'un arbre par son numéro d'identification ;
6. Sortie du programme.

Lors du cubage des arbres (fonction 1 ou 4 du menu), l'utilisateur a le choix entre quatre types de volume de tige : volume bois fort, volume total, volume jusqu'à une découpe fixée en circonférence, volume jusqu'à une longueur déterminée.

### Le programme « Équacub »

Le programme « équacub » permet de calculer des équations de cubage relatives à des tarifs à une ou à deux entrées grâce aux méthodes statistiques de régression linéaire simple ou multiple (Dagnelie, 1975). Il utilise deux fichiers : celui constitué lors de l'utilisation du programme « volume » et qui contient toutes les données de base ainsi que les volumes individuels calculés et celui appelé à contenir les coefficients des équations de cubage (fichier « équation »).

Parmi les équations susceptibles d'être ajustées, nous proposons celles qui, selon notre expérience, donnent les résultats les plus satisfaisants. Ces équations ne sont évidemment pas exclusives, mais le fait d'en retenir certaines bien déterminées permet d'envisager l'automatisation quasi complète du processus de traitement. Elles relèvent de tarifs à une et à deux entrées (tableau I) dans lesquels nous désignerons par  $v$  : le volume de l'arbre,  $c$  : la circonférence,  $h$  : la hauteur ; et par  $a_0, a_1, a_2, a_3$  : les coefficients (à estimer) des équations correspondantes.

Pour chaque régression, le programme fournit :

- le nombre de variables explicatives considérées ;
- la moyenne de la variable dépendante (volume) et de la variable explicative (circonférence, hauteur) ;
- les valeurs des coefficients de régression ;
- les coefficients de corrélation et de détermination ;
- l'écart type résiduel et le coefficient de variation résiduelle.

En principe, on choisira l'équation qui donne lieu au coefficient de variation résiduelle le plus faible et au coefficient de détermination le plus élevé.

Tableau I Tarifs (équations) de cubage envisagés dans le programme de calcul

1 entrée	2 entrées
$v = a_0 + a_1 c^2$	$v = a_0 + a_1 c^2 + a_2 c^2 h$
$v = a_0 + a_1 c + a_2 c^2$	$v = a_0 + a_1 c^2 + a_2 c^2 h + a_3 h$
$\ln v = a_0 + a_1 \ln c$	$v = a_0 + a_1 c^2 h$
	$\ln v = a_0 + a_1 \ln c + a_2 \ln h$

**Le programme « Tabu »**

Ce programme a pour but de présenter, sous la forme d'une table prête à l'usage, le tarif de cubage choisi parmi ceux proposés dans le programme « équacub ». Il utilise exclusivement le fichier contenant les coefficients des équations et fournit les résultats en fonction de contraintes de présentation définies par le forestier.

**Le programme « Tarif »**

Grâce à ce programme qui permet d'intégrer les diverses phases du système de traitement, l'utilisateur a la possibilité d'appeler directement à partir d'un menu l'une ou l'autre fonction des programmes précités et d'entreprendre des calculs de manière plus rapide ou selon une séquence préalablement définie.

**EXEMPLE**

À titre d'exemple, nous envisagerons la construction d'un tarif de cubage local, à une entrée, pour une forêt résineuse de 45 ans, constituée d'épicéas couvrant une vingtaine d'hectares.

Lors d'une coupe d'éclaircie portant sur la moitié de l'étendue totale, 46 arbres abattus ont été choisis aléatoirement à raison de 4 à 6 bois par catégorie de circonférence.

La figure 1 montre les résultats auxquels conduit l'utilisation du programme « volume » pour le premier arbre de l'échantillon. Le type de volume considéré (code 1) est le volume du bois fort de la tige. On constate que les circonférences ont été mesurées à 1,5 m et aux niveaux correspondant à 0 m, 0,5 m, 1 m, 1,5 m, 2 m, 3 m, 4 m, et ainsi de suite de mètre en mètre jusqu'à 10 m, puis de 2 m en 2 m jusqu'à la limite correspondant au bois fort, soit 22 cm de circonférence.

Figure 1  
DONNÉES DE BASE ET CALCUL DU VOLUME  
RELATIFS A UN ARBRE

DONNÉES TARIF DE CUBAGE			
===== EPTCEA =====			
. ARBRE NO 1			
-----			
CIRC A 1,30 M	=	49	CM
CIRC A 1,50 M	=	48	CM
HAUTEUR TOTALE	=	12,6	M
HAUTEUR B.FORT	=	12	M
VOLUME	=	152	DM3
TYPE DE VOLUME	=	1	
+-----+-----+			
I	NIV	I	CIRC
+-----+-----+			
I	0.0	I	65.0
I	0.5	I	57.0
I	1.0	I	52.0
I	1.5	I	48.0
I	2.0	I	45.0
I	3.0	I	44.0
I	4.0	I	43.0
I	5.0	I	41.0
I	6.0	I	40.0
I	7.0	I	37.0
I	8.0	I	35.0
I	9.0	I	33.0
I	10.0	I	28.0
I	12.0	I	22.0
+-----+-----+			

La figure 2 est relative aux résultats de l'ajustement aux données de base d'une équation du type  $v = a_0 + a_1 c^2$ . On peut constater que le tarif de cubage s'écrit, dans ces conditions :

$$v = - 37,3735 + 0,08658 c^2$$

. TARIF A UNE ENTREE

---

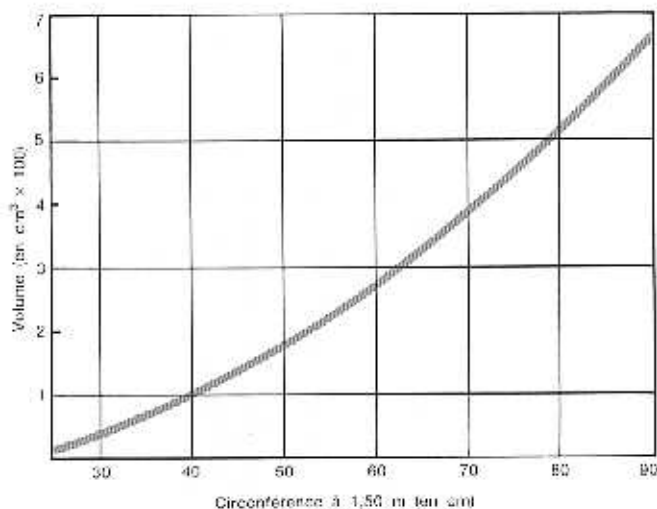
\* EQUATION NO 1:  $V=A0+A1 C**2$   
 ----- OU  $Y=V$  ET  $X=C**2$

NOMBRE D'ARBRES = 46  
 REGRESSION LINEAIRE DE Y EN FONCTION DE X:

---

MOYENNE DE Y = 306.304  
 MOYENNE DE X = 3969.28  
 PENTE DE LA DROITE A1 = .0865843  
 ORDONNEE A L'ORIGINE A0 = -37.3735  
 COEFFICIENT DE CORRELATION (R) = .961778  
 COEFFICIENT DE DETERMINATION (R2) = .925018  
 SCE DES Y = 1.88608E+06  
 SCE RESIDUELLE = 141423  
 ECART-TYPE RESIDUEL = 56.6936  
 COEF. DE VARIATION RESIDUELLE (X) = 18.5089

Figure 2 ÉQUATION DE CUBAGE ET PARAMÈTRES STATISTIQUES LIÉS



Quant à la figure 3, elle fournit les volumes du bois fort en  $dm^3$  relatifs à des circonférences échelonnées de 25 à 90 cm par pas de 5 cm.

La figure 4 montre qu'il est également possible, par l'intermédiaire d'un « plotter » ou d'un traceur de courbes couplé au micro-ordinateur, de représenter graphiquement l'évolution du volume en fonction de la circonférence selon l'équation obtenue ci-avant.

TARIF  
 EPICEA

---

- X = CIRC 1.5 M

\*\*\*\*\*

I	I	I
I	. I	VOLUME I
I	X .I	I
*****		
I	I	I
I	25 I	17 I
I	30 I	41 I
I	35 I	69 I
I	40 I	101 I
I	45 I	138 I
I	I	I
I	50 I	179 I
I	55 I	225 I
I	60 I	274 I
I	65 I	328 I
I	70 I	387 I
I	I	I
I	75 I	450 I
I	80 I	517 I
I	85 I	588 I
I	90 I	664 I
I	I	I
I	I	I
*****		

Figure 3  
 TARIF DE CUBAGE  
 (RÉSULTATS TABULÉS)

Figure 4  
 REPRÉSENTATION GRAPHIQUE DE  
 L'ÉVOLUTION DU VOLUME  
 EN FONCTION DE LA CIRCONFÉRENCE

## CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Nous avons abordé la construction « informatisée » d'un tarif de cubage d'une manière relativement simple, mais qui nous paraît largement satisfaisante pour l'objectif que nous poursuivions : mettre à la disposition des gestionnaires forestiers une technique rapide de construction.

Les tarifs de cubage sont des outils fondamentaux en matière de gestion et des auxiliaires indispensables pour le cubage d'arbres sur pied. Leur construction et leur utilisation constituent un remarquable champ d'activités pour la micro-informatique « forestière ». La méthodologie et le système de traitement que nous proposons doivent être considérés comme un moyen d'envisager et de promouvoir la construction de tarifs de cubage appelés à répondre à des objectifs bien déterminés et conçus sur des bases comparables, ce qui constituerait, selon nous, un progrès considérable par rapport à ce qui se fait encore très souvent actuellement.

Ils permettent d'accélérer considérablement la détermination de volumes dans le cadre d'inventaires complets ou par échantillonnage faisant eux-mêmes l'objet d'approches informatisées pour ce qui regarde la collecte et le traitement des données.

C. OTOUL  
Ingénieur agronome des Eaux et Forêts  
Assistant à INSAU  
BUJUMBURA (BURUNDI)

J. RONDEUX  
Chargé de cours  
Unité Gestion et Économie forestières  
et Centre de Recherche et de Promotion forestières  
INSIA - FACULTE DES SCIENCES AGRONOMIQUES  
Passage des Déportés  
5800 GEMBLoux (BELGIQUE)

## BIBLIOGRAPHIE

- BOUCHON (J.). — Les tarifs de cubage. — Nancy : ENGREF, 1974. — 57 pages + 71 annexes.
- DAGNELIE (P.). — Analyse statistique à plusieurs variables. — Gembloux : Les Presses agronomiques de Gembloux, 1975. — 302 pages.
- DAGNELIE (P.), PALM (R.), RONDEUX (J.), THILL (A.). — Tables de cubage des arbres et des peuplements. — Gembloux : Les Presses agronomiques de Gembloux - Duculot, 1985. — 140 pages.
- GHAYHI (J.P.), RONDEUX (J.), MODAVE (J.). — Programme de traitement automatique de données d'inventaire forestier par échantillonnage. — Centre de Recherche et de Promotion forestières, INSIA (Section « Aménagement et Production »), Gembloux, 1979. — 15 pages (Note technique 79-2).
- OTOUL (C.). — Programmes de tarifs de cubage sur micro-ordinateur Apple II. — Notices d'utilisation. — Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux, 1985. — 11 pages.
- 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.). — À propos de l'automatisation des inventaires forestiers complets. — *Bulletin de la Société royale forestière de Belgique*, vol. 79, n° 4, 1972, pp. 237-252.
- RONDEUX (J.). — Contribution à l'utilisation de l'informatique en matière de gestion des peuplements forestiers. — Thèse de doctorat. — Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux, 1973 a. — 275 pages.
- 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, n° 4, 1973 b, pp. 185-187.
- RONDEUX (J.). — L'ordinateur au service de la gestion forestière. Un cas pratique. — *Bulletin de la Société royale forestière de Belgique*, vol. 81, n° 2, 1974, pp. 117-134.

- RONDEUX (J.). — Un système de gestion des peuplements forestiers par ordinateur. — *Revue belge de Statistique, d'informatique et de Recherche opérationnelle*, vol. 14, n° 1, 1975, pp. 11-43, vol. 15, n° 2, 1975, pp. 37-38.
- RONDEUX (J.). — A flexible yield and management model for Spruce in Belgian Ardennes. In: *Planning performance and evaluation of growth and yield studies.*— Oxford: Commonwealth Forestry Institute, University of Oxford, 1979. — 175 pages.
- RONDEUX (J.), SERVAIS (A.), DEGACHI (S.). — Quelques applications de saisie et de traitement électronique de données forestières au moyen d'un micro-ordinateur portatif. — *Bulletin de la Société royale forestière de Belgique*, sous presse.
- VASIEVICH (J.M.). — The impact of microcomputers on forestry. In: *Microcomputers : a new tool for foresters.* — Purdue University, West Lafayette, Indiana, 1982. — 159 p.