

Construction d'une table de production pour le Douglas (*Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) FRANCO) en Belgique ⁽¹⁾

par

J. RONDEUX ^(*) (**), C. LAURENT ^(***), A. THIBAUT ^(**)

Résumé

Une table de production a été construite pour des peuplements purs équiennes de douglas (*Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) FRANCO) en Belgique. A cet effet, nous avons utilisé les données issues de 256 placettes temporaires dont 87 ont été mesurées à deux ou trois reprises. La table, valable pour la sylviculture moyenne pratiquée à l'époque des mesures, s'articule en 3 niveaux de productivité (définie par la hauteur dominante atteinte à 50 ans) établis à partir du modèle de JOHNSON-SCHUMACHER. Le matériel ligneux sur pied est calculé, âge par âge et pour chaque niveau de productivité, à partir de relations adéquates exploitant la distribution du nombre de tiges par catégories de grosseur, elle-même déterminée par la fonction de WEIBULL. L'utilisation de valeurs d'accroissements individuels obtenues au moyen de la tarière de PRESSLER sur plus de 2 000 carottes, a permis d'estimer le matériel sur pied en début et en fin de rotation, et de déduire par comparaison le matériel prélevé en éclaircie ainsi que divers accroissements. Cette table servira de base à l'élaboration d'un ensemble de tables à "sylvicultures variables" correspondant à divers types de traitement sylvicole. La production de douglas est comparée à celle observée dans les pays voisins.

Mots clés : *Pseudotsuga menziesii*, table de production, modèle de croissance, productivité.

(1) Recherche financée par l'IRSIA (Institut pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture), Bruxelles, Belgique. Texte publié, pour diffusion restreinte, dans *Les Cahiers Forestiers de Gembloux*, n° 3, 1991.

(*) Unité de Gestion et Economie Forestières. Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux. Passage des Déportés, 2. B-5030 GEMBLoux (Belgique).

(**) Centre de Recherche et de Promotion Forestières. Section «Aménagement et Production» (IRSIA). Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux. Passage des Déportés, 2. B-5030 GEMBLoux (Belgique).

(***) Ministère de la Région Wallonne. Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement. Division de la Nature et des Forêts. Avenue du Prince de Liège, 15. B-5100 JAMBES (Belgique).

1. Introduction

Le douglas est une essence qui, depuis la seconde guerre mondiale, a pris un essor considérable en Belgique. Sa croissance exceptionnelle, comparée à celle de l'épicéa commun, l'a placé au rang des acquisitions les plus remarquables pour notre sylviculture. Cependant, force est de constater que seules des informations fragmentaires ou des mesures locales, voire des supputations basées sur l'analyse de la littérature étrangère, permettaient aux gestionnaires d'avoir une idée des performances de croissance envisageables. Pareille situation, on s'en doute, n'est guère favorable à la définition et à l'application d'une sylviculture appropriée au douglas.

Nous avons mis à profit une vaste étude consacrée au douglas [RONDEUX *et al.*, 1991] pour construire une table de production valable pour la culture de cette essence en Belgique. Elle se fonde sur plus de 250 placettes de production réparties sur tout le territoire et tient compte de la diversité des conditions stationnelles rencontrées ainsi que des peuplements actuellement en croissance. Reflet aussi fidèle que possible de la sylviculture moyenne pratiquée à l'époque des mesures, elle servira ultérieurement de base à des opérations de simulation qui devraient nous permettre d'élaborer des tables de production à "sylvicultures variables", outils directement valorisables en matière de traitement sylvicole et de planification à moyen et à long terme des ressources boisées.

Nous analyserons tout d'abord le matériel de base de l'étude, qu'il s'agisse des peuplements ou des placettes de production au sein desquelles les données ont été récoltées (point 2). Ensuite, l'élaboration de la table proprement dite nécessitera que soient successivement abordés : le choix d'un modèle de croissance en hauteur dominante et son ajustement, la fixation des niveaux de productivité, l'évolution des nombres de bois considérés globalement et par catégories de grosseur, le calcul des accroissements en grosseur et l'évolution du matériel des peuplements principal et accessoire (point 3). Enfin, la présentation proprement dite de la table et l'analyse de son contenu (point 4) feront l'objet d'une discussion (point 5) ; nous terminerons par quelques conclusions (point 6).

2. Matériel d'étude

2.1. LIMITES DE LA REGION CONCERNEE

Les peuplements ayant servi de base à l'étude sont situés dans toutes les régions naturelles où le douglas a été implanté et plus précisément au sud du sillon Sambre-et-Meuse. Parmi les principales régions naturelles représentées dans l'échantillon (Tableau I), l'Ardenne vient largement en tête puisqu'elle intervient pour 48 % (7 % en basse Ardenne, 33 % en moyenne Ardenne et 8 % en haute Ardenne) ; viennent ensuite la Famenne et la Fagne à raison de 18,5 %, puis le Condroz pour 14,2 %.

Tableau I. — Répartition des placettes analysées par région naturelle [DELVAUX, GALOUX, 1962].

Repartition of measured plots by natural regions.

REGIONS NATURELLES	%
Région limoneuse	3,0
Pays meusien et sambrien	5,2
Pays de Herve	0,9
Condroz	14,2
Famenne - Fagne	18,5
Calestienne	6,9
Basse Ardenne	7,3
Moyenne Ardenne	33,2
Haute Ardenne	7,8
Gaume	3,0

2.2. CHOIX DES PEUPELEMENTS

Nous avons veillé à ce que les peuplements échantillonnés couvrent le mieux possible la diversité des âges, des traitements sylvicoles et des milieux écologiques. A cet égard, les informations récoltées de 1980 à 1983 dans le cadre de l'inventaire des ressources forestières wallonnes [RONDEUX *et al.*, 1986] ont été particulièrement précieuses car elles révélaient, entre autres, que 90 % des peuplements existants avaient un âge inférieur à 60 ans et que 75 % n'atteignaient pas 45 ans.

Nous avons analysé des peuplements à haut degré de pureté, au-

tant que possible équiennes, normalement denses, sans trouées et de même origine génétique. Les peuplements de douglas ne se rencontrent pas tous à l'état pur, les plus âgés se présentant sous la forme de douglasières pures sont très souvent issus de mélanges, dans des proportions variées, avec l'épicéa commun. L'échantillonnage que nous avons effectué est basé sur des placettes de production situées dans des peuplements dont l'âge justifie encore la présence d'un mélange et nous avons estimé qu'il n'était pas raisonnable de les exclure de l'analyse pour deux raisons essentielles :

- l'échantillonnage opéré dans certaines classes d'âge aurait été insuffisant et sous-représenté par rapport à celui des autres classes ;
- le mélange, dans des proportions n'excédant pas 20 % en nombre de tiges et en surface terrière, seuil également admis par BARTET et BOLLIET [1976], ne semble pas avoir d'influence sur la croissance du douglas ; on accepte donc, dans pareilles conditions, que le peuplement de référence soit moins dense que le peuplement pur de même âge traité normalement.

Après avoir vérifié l'âge de ces peuplements par sondage à la tarière de PRESSLER, nous avons admis leur caractère équienne lorsque les arbres ne présentaient pas des âges situés hors d'une fourchette de 5 ans.

Pour ce qui regarde l'homogénéité et la densité normale, ces critères ont été examinés cas par cas et s'adressent aussi aux parties de peuplements réellement échantillonnées.

Quant à l'origine génétique des peuplements, rien ne nous a permis de la préciser. Tout au plus, peut-on admettre que les meilleures provenances, identifiées voici quelques années [NANSON, 1978] et introduites en forêt, ne font pas partie de notre échantillon. Il reste à admettre l'hypothèse que les peuplements de plus de 15 ans sont, dans l'ensemble, assez peu différents sur le plan génétique ou, si ce n'est pas le cas, qu'ils ont été implantés de manière équilibrée dans tous les milieux étudiés.

2.3. RECOLTE DES DONNEES

Les données de base ont été récoltées au sein de 256 placettes de production couvrant une surface moyenne comprise entre 5 et 6 ares. Certaines d'entre elles ont été matérialisées et remesurées 3 ans après leur installation. Chacune des 256 placettes a été installée au sein des peuplements jugés intéressants pour l'étude et de telle manière que les critères évoqués ci-avant (pureté, homogénéité, densité) soient suffi-

samment bien respectés. Pour ce qui regarde plus précisément le mélange, nous avons admis un pourcentage ne dépassant pas 20 %, soit un rapport entre le nombre de tiges d'essences compagnes et le nombre total de tiges, inférieur à 20 %. Les placettes présentant malgré tout un mélange et ne justifiant pas leur élimination de l'échantillon (entre 2 et 20 % d'essences compagnes) sont au nombre de 50. Nous les avons traitées en considérant la distribution des circonférences à 1,30 m de l'ensemble des essences présentes au sein de la placette, soit aussi le "total vivant". Les circonférences des essences compagnes ne peuvent s'écarter ni vers le haut, ni vers le bas, des circonférences observées pour l'essence principale ; celles qui sont retenues sont toutes considérées comme relevant de l'essence principale et sont traitées en conséquence. Les placettes ont fait l'objet de mesures dendrométriques précises et d'une caractérisation stationnelle sommaire ou fouillée selon les cas.

Afin de réunir une quarantaine d'arbres mesurables par placette, nous avons implanté des surfaces circulaires variant de 2 à 15 ares selon la densité des peuplements.

Les arbres inclus dans ces placettes, matérialisées au moyen de la mire de PARDE, ont fait l'objet des mesures ou des déterminations suivantes :

- circonférences au cm près, à 1,30 m (usage international) et à 1,50 m (usage belge) du sol à partir d'un seuil de 22 cm à 1,30 m ;
- hauteurs totales des plus gros arbres (un par are de placette) au quart de mètre près, en vue de déterminer la hauteur dominante qui correspond, par convention, à la moyenne des hauteurs totales des 100 plus gros bois à l'ha ;
- âge à la tarière de PRESSLER (sondage effectué à 0,30 m au-dessus du niveau du sol) et considéré depuis la plantation ;
- accroissements radiaux, au 1/100 mm près, à 1,30 m, portant sur les 5 dernières saisons de croissance et intéressant une quinzaine d'arbres choisis au prorata des effectifs par classes de circonférence (146 placettes ont ainsi été concernées) ;
- épaisseur de l'écorce, au mm près, à 1,30 m, des arbres retenus pour les accroissements radiaux.

2.4. CARACTERISATION DENDROMETRIQUE DES PLACETTES DE PRODUCTION

Afin de mieux fixer les idées quant aux types de peuplements qui ont servi de référence à la construction du modèle de croissance, le

tableau II fournit, par classes d'âge, les valeurs moyennes, minimales et maximales ainsi que les écarts-types des principales caractéristiques relevées au sein des placettes, à savoir : la hauteur dominante (HDOM), la circonférence de l'arbre de surface terrière moyenne (CG), le nombre de tiges à l'ha (N), la surface terrière à l'ha (G) et le volume bois fort tige à l'ha (V).

Tableau II. — Caractéristiques observées, par classes d'âge, dans les placettes de douglas étudiées et utilisées pour la construction du modèle de croissance.
Observed variables per age classes in sample plots of Douglas fir used for the yield model construction.

CLASSES D'ÂGE	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60
NOMBRE DE PLACETTES	45	129	33	23	26
HDOM (m)					
Moyenne	14,1	19,6	25,3	30,0	33,8
Ecart-type	2,3	2,4	2,1	3,1	2,6
Minimum	8,4	13,3	21,3	24,3	30,4
Maximum	18,8	25,5	31,6	35,9	40,1
CG (cm)					
Moyenne	48,2	64,2	89,1	118,3	152,7
Ecart-type	6,9	11,7	15,1	12,9	20,6
Minimum	35,6	41,3	62,5	94,1	121,4
Maximum	64,9	98,0	144,1	147,8	198,8
N (ha)					
Moyenne	1 748	1 243	671	361	221
Ecart-type	470	529	278	84	62
Minimum	920	400	250	233	113
Maximum	2 600	2 950	1 452	517	333
G (m ² /ha)					
Moyenne	31,3	36,9	38,7	39,2	39,1
Ecart-type	6,8	7,9	6,9	5,7	5,7
Minimum	18,3	18,3	26,8	28,1	29,6
Maximum	52,3	59,2	53,7	49,3	51,2
V (m ³ /ha)					
Moyenne	187	293	386	452	497
Ecart-type	57,7	70,8	71,3	79,0	78,7
Minimum	77	116	266	316	360
Maximum	373	548	528	640	627

3. Elaboration de la table de production

3.1. CHOIX D'UN MODELE DE CROISSANCE EN HAUTEUR DOMINANTE

L'évolution de la croissance en hauteur dominante au cours du temps est un point capital dans la philosophie de construction d'un modèle de production car, envisagée à un âge de référence fixé, cette hauteur, peu sensible aux traitements sylvicoles généralement appliqués, peut être considérée comme étant un reflet de la productivité d'un peuplement et donc aussi un moyen de distinguer des niveaux de productivité justifiant la prise en compte de tables séparées.

S'agissant d'un problème de croissance, nous avons analysé et testé plusieurs modèles non seulement par ajustement sur les couples de données hauteur dominante - âge mais aussi sur des représentations graphiques d'accroissements issus de remesurages de placettes. Compte tenu de la valeur des paramètres globaux d'ajustement (coefficient de détermination R^2 et écart-type résiduel ECT) ainsi que de l'analyse de la dispersion des résidus, nous avons retenu le modèle de JOHNSON-SCHUMACHER. Ce modèle s'écrit sous la forme générale :

$$H_{DOM} = H_{MAX} \cdot \exp \left[-T/(\text{âge} - B) \right]$$

sachant que :

H_{DOM} = hauteur dominante,

H_{MAX} = asymptote horizontale, correspondant à la hauteur maximale pouvant être atteinte,

T et B = paramètres qui déterminent respectivement l'étalement de la croissance dans le temps et le début de la croissance.

3.2. AJUSTEMENT DU MODELE ET FIXATION DES NIVEAUX DE PRODUCTIVITE

Plutôt que d'étudier exclusivement les relations existant entre les 256 couples de données hauteur dominante - âge correspondant aux placettes temporaires, méthode uniquement valable pour autant que les divers niveaux de productivité soient également représentés dans toutes les classes d'âge, nous avons opté pour l'analyse des accroissements en hauteur dominante observés à la suite de remesurages effectués sur 87 placettes. Les différents segments de droite caractérisant une

croissance périodique ont fait l'objet d'ajustements graphiques destinés à traduire l'évolution de la hauteur dominante en fonction de l'âge. Pour tenir compte de la structure du "nuage" de segments, nous avons distingué plusieurs niveaux identifiés au moyen de quatre courbes tracées à main levée. Chacune de celles-ci a ensuite été digitalisée en vue de fournir un ensemble de couples hauteur dominante - âge auxquels on a ajusté le modèle de JOHNSON-SCHUMACHER.

A la suite d'une première estimation par régression non linéaire des paramètres T , H_{MAX} et B , il s'est avéré qu'en cherchant à les harmoniser en vue d'obtenir une seule équation, T était le plus difficile à exprimer. Le modèle a ensuite été réduit à deux paramètres en imposant à chacune des courbes de passer par un point de départ commun (âge = 0, $H_{DOM} = 0,30$ m), ce qui implique pour T de prendre la valeur :

$$T = B \ln (0,30 / H_{MAX})$$

Connaissant également, pour chacune des courbes, les hauteurs dominantes estimées à 50 ans, soit H_{50} , et les valeurs du paramètre B , on a pu mettre en évidence la relation suivante :

$$\hat{B} = -19,1 + 0,358 H_{50} \quad (R^2 = 0,98)$$

Quant à la valeur du dernier paramètre H_{MAX} , elle découle de l'application d'une deuxième contrainte imposant le passage des courbes par un point correspondant à la hauteur dominante atteinte à l'âge de 50 ans, ce qui donne lieu à la relation :

$$H_{MAX} = \exp [(\hat{B} \ln 0,30 + (50 - \hat{B}) \ln H_{50}) / 50]$$

Compte tenu de l'allure générale du nuage de segments et en particulier de l'amplitude des hauteurs dominantes à 50 ans ainsi que des moyennes et des écarts-types des hauteurs dominantes observées selon les classes d'âge, nous avons jugé que 3 classes ou 3 niveaux suffisaient largement à exprimer la variabilité du potentiel de croissance du douglas. Les 3 niveaux retenus, dénommés " I_0 ", ont été respectivement fixés, du meilleur au plus mauvais, à 36 m de hauteur dominante à 50 ans pour la classe 1, à 33 m pour la classe 2 et à 30 m pour la classe 3.

3.3. EVOLUTION DES NOMBRES DE TIGES A L'HA ET PAR CATEGORIES DE GROSSEUR

Les développements qui vont suivre concernent les douglasières observées, traitées selon la sylviculture "moyenne" en vigueur au moment des mesures.

A partir de toutes les placettes considérées, la circonférence moyenne arithmétique à 1,30 m (CMOY) a été mise en relation avec l'âge (A), la hauteur dominante (HDOM) et l'indice de productivité (I_0) matérialisé par une hauteur dominante préfixée à 50 ans. Après avoir expérimenté plusieurs ajustements, nous avons retenu l'expression suivante n'incluant que l'âge et l'indice de productivité :

$$\text{CMOY} = -93,8239 + 2,8442 A + 2,5906 I_0 \quad (R^2 = 0,92)$$

Il s'est avéré que cette circonférence moyenne arithmétique estimée et l'âge rendaient compte de manière satisfaisante de l'évolution du nombre de tiges à l'ha (N) à partir de l'équation :

$$N = 599\,967 (\text{CMOY} - 0,8777) (A - 0,8480) \quad (R^2 = 0,62)$$

La distribution des circonférences par catégories a ensuite pu être décrite à l'aide de la distribution de WEIBULL à 3 paramètres [BAILEY, DELL, 1973] qui se présente selon l'expression :

$$g(x) = (c/b) \left(\frac{x-a}{b} \right)^{c-1} \exp \left[- \left(\frac{x-a}{b} \right)^c \right]$$

dans laquelle :

a, b et c sont des paramètres à estimer,

x représente la circonférence avec $x > a$, b et $c > 0$.

Ces paramètres ont chacun une signification bien particulière, puisque a représente la limite inférieure de la distribution (circonférence de la plus petite tige), b est un paramètre de dispersion et c un paramètre de forme.

L'idée d'analyser la distribution des circonférences part du principe qu'il est possible de reconstituer les principales composantes (volume, surface terrière, arbres moyens) d'un peuplement sur pied à partir de l'estimation de chacune des circonférences des arbres constituant ce peuplement.

Ces paramètres ont été estimés selon une méthode basée sur le maximum de vraisemblance et proposée par JOHNSON et KOTZ [1970].

Nous avons ensuite tenté d'exprimer l'évolution de ceux-ci en fonction des caractéristiques du peuplement, ce qui a respectivement donné lieu, pour les paramètres a et c , aux expressions suivantes :

$$\hat{a} = 21,196 + 1,816 \text{ CMOY} - 1,919 A - 3,203 \text{ HDOM} \quad (R^2 = 0,52)$$

$$\hat{c} = 2,68, \text{ fixé à sa valeur moyenne observée, suite à une mauvaise corrélation avec les caractéristiques du peuplement.}$$

Quant au paramètre b , il s'obtient à partir de la relation :

$$b = (\text{CMOY} - \hat{a}) / \Gamma(1 + 1/\hat{c})$$

où $\Gamma(1 + 1/\hat{c})$ représente la fonction gamma.

Ensuite, connaissant la fonction de répartition de la distribution de WEIBULL, il a été possible d'estimer le nombre de bois à l'ha pour une classe de grosseur i , de point central x_i et d'amplitude $2w$. En effet, on peut écrire que :

$$N_i = N \{ \exp [- ((x_i - w - a)/b)^c] - \exp [- ((x_i + w - a)/b)^c] \}$$

On procède alors à la reconstitution du matériel d'un peuplement sur pied à partir de l'âge, de la circonférence moyenne et de la hauteur dominante qui permettent de déterminer les paramètres utiles à la caractérisation de la distribution des tiges par catégories de circonférence. Poussant le raisonnement plus loin, on peut aussi transformer cette distribution continue, *via* sa fonction de répartition, en une série de circonférences individuelles ou encore en une distribution de fréquences par classes unitaires de circonférence.

3.4. CALCUL DES ACCROISSEMENTS EN GROSSEUR

L'étude des accroissements individuels en circonférence a été effectuée à partir de l'analyse de 2 100 carottes de sondage prélevées sur arbres debout à 1,30 m du sol. Les accroissements annuels en surface terrière (DGAN, en cm^2) portant sur les 5 derniers cernes de croissance à

l'époque des mesures ont été mis en relation avec l'âge A , l'indice de productivité I_0 , la circonférence de l'arbre (C , en cm) et la circonférence relative CREL, ainsi dénommée car correspondant au rapport entre la circonférence concernée et la circonférence moyenne des arbres composant la placette⁽¹⁾. L'équation suivante a été retenue :

$$DGAN = 48,983 (A^{-1,473}) (I_0^{-1,779}) (C^{2,378}) (CREL^{0,144}) \quad (R^2 = 0,79)$$

3.5. EVOLUTION DU PEUPELEMENT PRINCIPAL ET DU PEUPELEMENT ACCESSOIRE

Les relations envisagées ci-avant ont été mises en œuvre à partir de mesures réalisées aussi bien avant qu'après passage en coupe. Cela nous amène à accepter l'hypothèse qu'elles sont seulement valables à mi-rotation ou à mi-chemin entre deux passages successifs en éclaircies réalisées à périodicité constante.

Comme pour un peuplement correspondant à un âge et à un niveau de productivité donnés, toutes les circonférences des tiges qui le composent peuvent être énumérées, il est facile de déterminer les caractéristiques suivantes :

- la circonférence de chaque arbre, en début et en fin de rotation, obtenue en appliquant l'équation fournissant l'accroissement individuel en surface terrière ;
- la surface terrière et le volume sur pied à l'ha (issus d'un tarif de cubage exprimant le volume bois fort de la tige (V) en fonction de la circonférence à 1,30 m et de la hauteur dominante du peuplement [DAGNELIE *et al.*, 1985] et répondant à l'équation :

$$V = 0,0014078 - 0,0011755 C + 0,000043342 C^2 + 0,000000014805 C^3 \\ 0,000087036 HDOM + 0,0000018800 C^2 HDOM$$

On constatera aussi qu'en effectuant ces calculs pour deux rotations successives, la différence entre la situation à la fin d'une rotation et la situation au début de la rotation suivante fournit immédiatement les caractéristiques de l'éclaircie (peuplement accessoire).

Quant aux accroissements en surface terrière et en volume à l'ha, ils s'obtiennent par simple différence entre les situations en fin et en début d'une même rotation, les accroissements annuels courants

(1) CREL peut être considérée comme étant un reflet de la position sociale de l'arbre dans le peuplement.

résultant de la division des accroissements périodiques par la durée de la rotation⁽¹⁾.

4. Présentation de la table

Par agencement de toutes les relations mathématiques obtenues, il est possible de déterminer, pour chaque rotation, les caractéristiques du peuplement sur pied à mi-rotation, au début et à la fin de celle-ci, pour chacune des 3 classes de productivité envisagées et dans le contexte d'une sylviculture moyenne : celle observée au sein des peuplements échantillonnés.

La table (annexes 1, 2 et 3) s'articule donc en 3 sous-tables correspondant aux 3 classes de productivité déjà évoquées et fournit les caractéristiques suivantes en fonction de l'âge :

- la hauteur dominante du peuplement (HDOM, en m), le nombre de bois à l'ha (N), la circonférence moyenne quadratique (CG, en cm), la surface terrière à l'ha (G, en m²), le volume bois fort tige à l'ha (V, en m³), pour le peuplement principal avant et après éclaircie ainsi que pour les produits enlevés en éclaircie ;
- l'accroissement annuel courant (ACG, en m²) et l'accroissement moyen annuel (AMG, en m²) en surface terrière à l'ha, l'accroissement annuel courant (ACV, en m³) et l'accroissement moyen annuel (AMV, en m³) en volume bois fort tige à l'ha, la production totale en volume (PTV, en m³) bois fort tige à l'ha.

Pour éviter toute ambiguïté d'interprétation, les éclaircies sont pratiquées aux âges apparaissant dans la table et les accroissements courants annuels concernent la période de 5 ans prenant cours à l'âge auquel ils se réfèrent. Les accroissements, moyen annuel en surface terrière et moyen annuel en volume, de même que la production totale en volume, concernent l'ensemble de la production, c'est-à-dire à la fois le peuplement sur pied et les produits prélevés en éclaircie.

(1) Nous faisons ici l'hypothèse que la table de production fournit des résultats en fonction d'âges échelonnés sur des périodes correspondant à la rotation constante des éclaircies.

5. Discussion

Pour chacun des niveaux de productivité, la table proposée fournit, jusqu'à l'âge de 70 ans, des informations relatives aux peuplements principal, accessoire et total. En réalité, comme la construction du faisceau de courbes de productivité a concerné des âges limités à 60 ans, suite au nombre trop réduit de peuplements plus âgés présents dans l'échantillon, les valeurs dendrométriques fournies au-delà de cette limite doivent être utilisées avec discernement.

L'accroissement moyen annuel en volume est très proche de 20 m³ par ha en classe 1 (hauteur dominante de 36 m à 50 ans) dès l'âge de 35 ans et est longtemps soutenu avec un maximum situé entre 45 et 50 ans. Ce maximum est reporté vers 60-65 ans en classe 2 (hauteur dominante de 33 m à 50 ans) alors qu'il ne serait pas encore atteint à 70 ans en classe 3 (hauteur dominante de 30 m à 50 ans).

La comparaison entre les productions attendues de l'épicéa commun [DAGNELIE *et al.*, 1988] et du douglas sont largement à l'avantage de ce dernier. On remarquera en effet que la première classe de productivité de l'épicéa, pour une sylviculture moyenne (type C caractérisé par un accroissement moyen périodique de 2,25 cm en circonférence moyenne), correspond globalement, en ce qui concerne les accroissements moyens annuels, à la deuxième classe de productivité du douglas.

Pour avoir une idée de la production du douglas en Belgique par rapport à celle observée dans plusieurs pays voisins, nous avons examiné diverses tables de production disponibles en Angleterre, en Allemagne, en France et aux Pays-Bas. A cet effet, nous avons extrait des différents niveaux de productivité composant ces tables les valeurs de production représentées par les accroissements moyens annuels maxima dont nous avons matérialisé l'amplitude de la variation dans la figure 1. Celle-ci montre clairement la position moyenne de la Belgique par rapport aux valeurs maximales et minimales des maxima d'accroissement moyen annuel et, dans une large mesure, elle confirme la plus grande production du douglas dans les pays ou régions à climat maritime plus marqué, caractérisé par une période de végétation plus longue et une meilleure distribution des précipitations durant l'année.

A cet égard, pour les Pays-Bas, la production relativement moins importante pourrait vraisemblablement s'expliquer par une plus grande pauvreté des sols. La faible amplitude de variation des accroissements observés en Belgique est sans doute liée aux caractéristiques

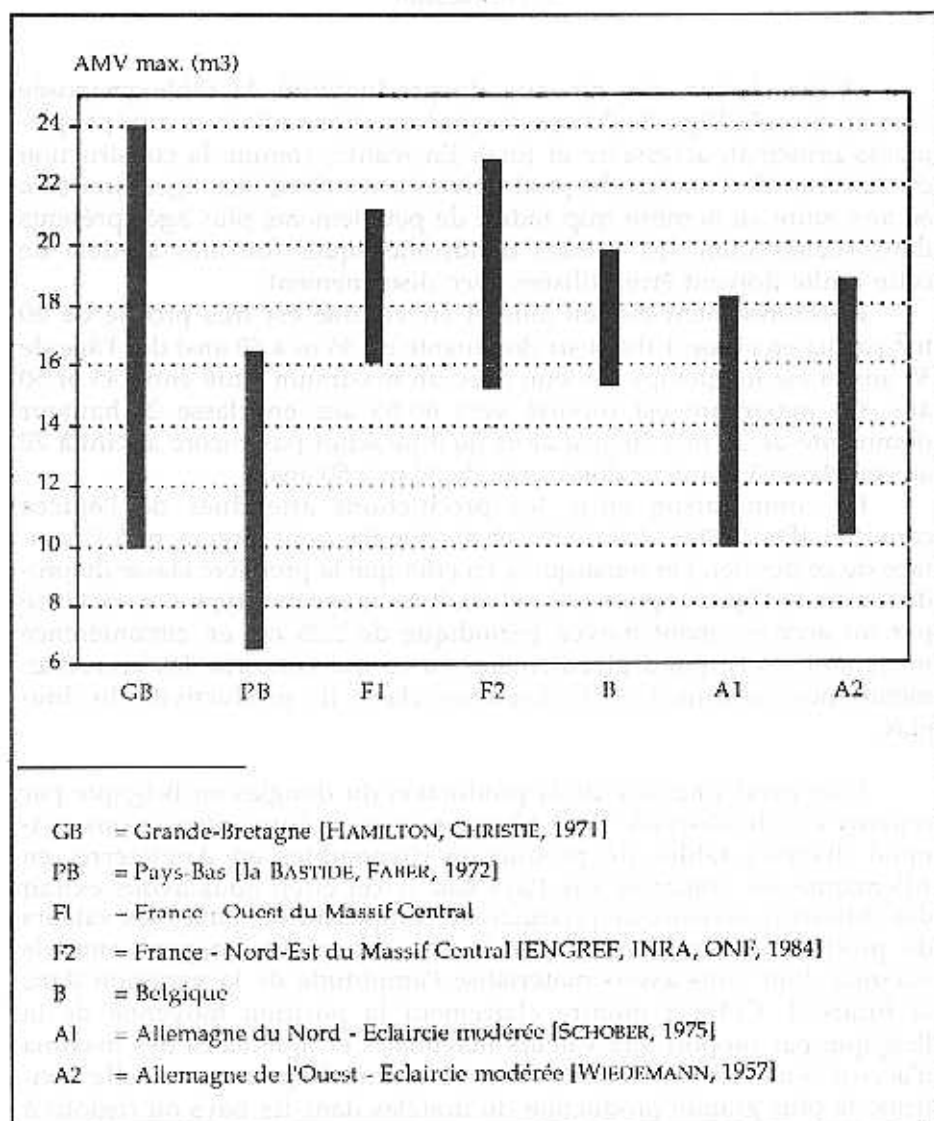


Figure 1. — Amplitude des accroissements moyens annuels maxima en volume (AMV) observés pour le douglas dans quelques pays d'Europe occidentale.
Range of maximum mean annual volume increments (AMV) for Douglas fir in some Western European countries.

écologiques assez homogènes de la région étudiée et au fait que le douglas a été introduit sur de bons sols souvent abandonnés par l'agriculture, les plus mauvais ayant déjà été colonisés dès la fin du 19^e siècle par le pin sylvestre et l'épicéa commun.

Toujours sur la base des tables de production étrangères et en faisant abstraction de leur mode d'élaboration, si l'on considère l'évolution de la production totale en volume en fonction de la hauteur dominante, toutes classes de productivité confondues, il est très intéressant de constater que parmi les pays et régions envisagés, l'Angleterre et la France, plus particulièrement l'Ouest du Massif Central, révèlent une production systématiquement plus élevée. L'écart serait de l'ordre de 70 m³ par rapport à la moyenne des autres pays pour la France et dépasserait largement ce chiffre au-delà de 30 m de hauteur dominante pour l'Angleterre qui "décroche" des autres pays à partir de hauteurs dominantes voisines de 20-22 m.

Il semble bien que la supériorité de ces deux zones de croissance soit fortement liée au caractère maritime de leur climat. Pour ce qui regarde les autres pays ou régions, à climats nettement plus continentaux, l'amplitude maximale des productions totales attendues, exprimée en pourcentage de la production totale moyenne, quelles que soient les hauteurs dominantes, est pratiquement constante au-delà de 18 m et voisine de 13 %.

Les limites supérieures et inférieures du faisceau de courbes caractéristiques de ces mêmes pays correspondent respectivement aux productions enregistrées en France (Nord-Est du Massif Central) et en Belgique. Il existe une très grande similitude d'évolution de la production totale entre la Belgique et l'Allemagne de l'Ouest (Bade-Württemberg, en particulier) puisque l'on observe moins de 2 % d'écart pour les mêmes hauteurs dominantes au-delà de 18 m. Ce constat vient confirmer le point de vue déjà émis par DELVAUX [1966] qui, faute de disposer de données suffisamment nombreuses pour la Belgique, appuyait son raisonnement sur des corrélations entre la production en volume et le climat.

6. Conclusions

Une table de production a été construite pour des peuplements purs équiennes de douglas (*Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) FRANCO) en Belgique. Elle s'appuie sur l'exploitation de données issues de plus de 250 placettes temporaires et de remesurages successifs opérés dans près d'un tiers d'entre elles. Cette table comporte trois niveaux de produc-

tivité matérialisés par des hauteurs dominantes atteignant respectivement 36, 33 et 30 m à l'âge de 50 ans. Sa construction se déroule selon le processus général suivant :

- établissement d'un faisceau de courbes de productivité à partir de l'équation non linéaire de JOHNSON-SCHUMACHER appliquée à des valeurs issues d'ajustements graphiques opérés sur des segments de droite qui traduisent l'évolution d'accroissements périodiques en hauteur dominante ;
- étude de l'évolution des nombres de tiges à l'ha et par catégories de grosseur *via* la distribution de WEIBULL et reconstitution du matériel sur pied à partir de l'âge, de la circonférence moyenne et de la hauteur dominante ;
- calcul des accroissements individuels en circonférence à partir de l'analyse de carottes de sondage et application de ceux-ci aux distributions en début de rotation d'éclaircie pour en déduire celles en fin de rotation et estimer le matériel sur pied correspondant ;
- détermination des accroissements en surface terrière et en volume à l'ha par différence entre situations observées en fin et en début d'une même rotation et calcul du matériel prélevé en éclaircie, par comparaison entre situations à la fin d'une rotation et au début de la rotation suivante.

Les relations mathématiques utilisées devraient ultérieurement servir de base à la construction de tables à sylvicultures variables, comportant diverses modalités de traitement sylvicole, exprimées au moyen d'accroissements annuels prédéterminés en circonférence de l'arbre de surface terrière moyenne.

En ce qui concerne les valeurs fournies par cette table de production, leur analyse révèle plusieurs éléments intéressants relatifs aux perspectives de production d'une essence appelée, dans beaucoup de situations, à supplanter l'épicéa :

- comparée à celle de l'épicéa commun (*Picea abies* (L.) KARST.), la production du douglas, en Belgique, est largement à l'avantage de ce dernier ; en ce qui concerne les accroissements moyens annuels, on observerait un décalage d'une classe de productivité, la classe 1 de l'épicéa (30 m à 50 ans) correspondrait à la classe 2 du douglas (33 m à 50 ans) ;
- pour ces deux mêmes essences considérées à 50 ans, les différences entre les productions totales en volume maximales, toutes classes de productivité confondues, seraient de l'ordre de 20 % ;
- l'amplitude de variation des valeurs maximales d'accroissements observés en Belgique (15,4 à 19,8 m³) est faible et sans doute liée au

- fait que le douglas a été introduit sur de bons sols souvent abandonnés par l'agriculture ;
- cette même amplitude, comparée à celle observée dans les pays voisins, traduit la position moyenne de la Belgique ; elle confirme la plus grande production du douglas dans les pays ou régions à climat maritime plus marqué, caractérisé par une période de végétation plus longue et une meilleure distribution des précipitations durant l'année ;
 - il existe une très grande similitude d'évolution de la production totale en volume entre la Belgique et l'Allemagne de l'Ouest (Bade-Württemberg).

Remerciements

Les auteurs adressent leurs sincères remerciements à MM. M. RENIER et P. FLORKIN, qui ont inlassablement sillonné les massifs forestiers de tout le pays et assuré la récolte puis contribué efficacement au traitement des milliers de données de base nécessaires à la présente étude. Ils ont bénéficié de précieuses indications fournies par MM. M. THIRION et X. VANDER ELST, œuvrant au sein d'une convention de recherche financée par la Région Wallonne et portant sur la conception méthodologique d'un inventaire forestier régional. Ils expriment également leur gratitude aux ingénieurs des Eaux et Forêts et aux gestionnaires forestiers privés qui leur ont permis d'identifier et de mesurer de nombreux peuplements souvent mal connus.

Summary

*Compilation of a yield table for the Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) FRANCO) in Belgium*

A yield table was compiled for even-aged pure stands of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) FRANCO) in Belgium. It reflects the probable development of normal fully stocked stands under the silviculture at the time of the data collection. The data were collected from 256 temporary sample plots, 87 of which were remeasured 2 or 3 times. A family of functions (the JOHNSON-SCHUMACHER model) was used to develop a site classification system based on the top height at age 50. The standing crop characteristics (number of trees, volume, basal area, mean stem basal area), calculated as a function of age and site index, are derived from stem girth distribution fitted by means of the WEIBULL function. Concerning the increments and the thinnings, the corresponding values were calculated from individual tree girth increments (from borings) and from comparison between stem distributions at the beginning and at the end of a period corresponding to a thinning cycle. The table is the basis on which a set of

variable density yield tables will be prepared. The yield of Douglas fir trees in Belgium is also compared with the yield observed in neighbouring European countries.

Key words : *Pseudotsuga menziesii*, yield table, growth functions, productivity.

Bibliographie

- BAILEY R.L., DELL T.R. [1973]. Quantifying diameter distributions with the WEIBULL function. *Forest Sci.* 19, 97-204.
- BARTET J.H., BOLLIET R. [1976]. Méthode utilisée pour la construction de tables de production à sylviculture variable. Doc. 76-9. Section Technique, Office National des Forêts, Fontainebleau, France, 90 p.
- DAGNELIE P., PALM R., RONDEUX J., THILL A. [1985]. Tables de cubage des arbres et des peuplements forestiers. Les Presses Agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgique, 148 p.
- DAGNELIE P., PALM R., RONDEUX J., THILL A. [1988]. Tables de production relatives à l'épicéa commun. Les Presses Agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgique, 123 p.
- DELVAUX J., GALOUX A. [1962]. Les territoires écologiques du Sud-Est Belge. Centre d'Ecologie Générale. Ministère de l'Education Nationale et de la Culture. Travaux hors série. Surveys écologiques régionaux. 1^{ère} partie 1-147; 2^e partie 148-311.
- DELVAUX J. [1966]. *Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) FRANCO var. *menziesii*. *Bull. Soc. R. For. Belg.* 73 (14), 437-480.
- ENGREF, INRA, ONF [1984]. Tables de production pour les forêts françaises. 2^e éd. Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts, Nancy, France, 158 p.
- HAMILTON G.J., CHRISTIE J.M. [1971]. Forest Management Tables (Metric). Forestry Commission Booklet N° 34. Her Majesty's Stationery Office, London, England, 201 p.
- JOHNSON N.L., KOITZ S. [1970]. Distributions in statistics : continuous univariate distributions. Vol. 1. Houghton Mifflin Co., Boston, Mass., USA, 250-266.
- la BASTIDE J.G.A., FABER P.J. [1972]. Revised yield tables for six tree species in the Netherlands. Stichting Bosbouwproefstation "De Dorschkamp". Wageningen, Nederland. Uitvoering verslag band 11, n° 1, 64 p.
- NANSON A. [1978]. Provenances recommandables pour la sylviculture. *Bull. Soc. R. For. Belg.* 85 (6), 217-246.
- RONDEUX J., FACOT J., LAURENT C., LECOMTE H., TOUSSAINT A. [1986]. Quelques données statistiques récentes sur la forêt wallonne. *Bull. Soc. R. For. Belg.* 93 (1), 1-22.
- RONDEUX J., LAURENT C., THIBAUT A., BAIX P. [1991]. Le douglas en Belgique : premiers résultats d'une étude intégrée. *Silva Belg.* 98 (5), 29-35.
- SCHOBER R. [1975]. Ertragstabellen wichtiger Baumarten. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M., Deutschland, 137 p., 22 ann.
- WIEDEMANN E. [1957]. Ertragstabellen wichtiger Holzarten bei verschiedener Durchforstung. Verlag M.u.H. Schaper, Hannover, Deutschland, 194 p.

Annexe 1. — Table de production relative au douglas en Belgique. Classe de productivité 1 (36 m de hauteur dominante à 50 ans).
Yield table for Douglas fir in Belgium. Production class 1 (top height = 36 m at age 50).

AGE	(1) HDOM	AVANT ECLAIRCIE				ECLAIRCIE				APRES ECLAIRCIE				ACCROISSEMENTS				AGE	
		N	CG	G	V	N	CG	G	V	N	CG	G	V	ACG	AMG	ACV	AMV		PTV
15	13,5	3 110	39	37,1	183	1 377	29	9,0	28	1 733	45	28,1	155	2,35	2,47	26,0	12,2	183	15
20	18,2	1 733	54	39,8	285	612	40	7,6	45	1 121	60	32,2	240	1,98	2,44	25,7	15,7	313	20
25	22,4	1 121	69	42,1	369	329	51	6,7	52	792	75	35,4	317	1,71	2,35	24,6	17,7	442	25
30	25,9	792	84	43,9	440	199	62	6,0	55	593	90	37,9	384	1,50	2,24	23,2	18,8	565	30
35	29,0	593	98	45,4	500	130	72	5,4	55	463	104	40,0	445	1,33	2,14	21,8	19,4	681	35
40	31,7	463	113	46,7	554	90	82	4,9	55	373	119	41,8	499	1,20	2,04	20,4	19,7	789	40
45	34,0	373	127	47,8	601	65	92	4,4	53	307	133	43,4	549	1,08	1,94	19,2	19,8	892	45
50	36,0	307	141	48,8	645	49	102	4,1	51	259	148	44,8	593	1,00	1,86	18,1	19,8	988	50
55	37,8	259	155	49,8	684	38	113	3,8	51	221	162	45,9	633	0,92	1,78	17,0	19,6	1 078	55
60	39,4	221	169	50,5	718	30	118	3,3	45	191	176	47,2	674	0,85	1,71	16,2	19,4	1 163	60
65	40,8	191	184	51,5	755	24	131	3,3	46	167	190	48,2	709	0,79	1,64	15,3	19,1	1 244	65
70	42,1	167	198	52,2	785	19	135	2,8	41	148	205	49,4	744	-	1,58	-	18,9	1 321	70

(1) Légende : voir texte page 338 (point 4).

Annexe 2. — Table de production relative au douglas en Belgique. Classe de productivité 2 (33 m de hauteur dominante à 50 ans).
Yield table for Douglas fir in Belgium. Production class 2 (top height = 33 m at age 50).

AGE	(1) HDOM	AVANT ECLAIRCIE				ECLAIRCIE				APRES ECLAIRCIE				ACCROISSEMENTS				AGE	
		N	CG	G	V	N	CG	G	V	N	CG	G	V	ACC	AMG	ACV	AMV		PTV
20	15,5	2 016	46	33,5	203	758	32	6,0	25	1 257	52	27,4	177	1,92	1,67	22,1	10,1	203	20
25	19,4	1 257	61	37,0	288	389	44	6,0	39	868	67	31,0	249	1,71	1,72	22,2	12,5	313	25
30	22,9	868	76	39,6	360	228	56	5,6	46	641	82	34,0	314	1,54	1,72	21,7	14,2	425	30
35	25,9	641	90	41,6	422	146	67	5,3	50	495	96	36,4	373	1,39	1,69	21,0	15,2	533	35
40	28,5	495	105	43,3	477	100	78	4,8	50	395	111	38,5	427	1,27	1,66	20,1	16,0	638	40
45	30,9	395	119	44,8	528	71	90	4,6	52	324	125	40,2	476	1,16	1,61	19,2	16,4	738	45
50	33,0	324	134	46,0	571	53	98	4,1	49	271	139	41,9	523	1,07	1,57	18,3	16,7	834	50
55	34,9	271	148	47,3	614	40	112	4,0	51	231	154	43,3	564	1,00	1,52	17,5	16,8	926	55
60	36,5	231	162	48,2	651	32	122	3,7	49	199	168	44,5	602	0,93	1,48	16,7	16,9	1 013	60
65	38,0	199	176	49,1	686	25	130	3,4	46	174	182	45,7	640	0,88	1,44	16,0	16,9	1 097	65
70	39,4	174	190	50,1	719	21	137	3,1	43	153	196	47,0	677	-	1,40	-	16,8	1 177	70

(1) Légende : voir texte page 338 (point 4).

Annexe 3. — Table de production relative au douglas en Belgique. Classe de productivité 3 (30 m de hauteur dominante à 50 ans).
Yield table for Douglas fir in Belgium. Production class 3 (top height = 30 m at age 50).

AGE	(1) HDOM	AVANT ECLAIRCIE				ECLAIRCIE				APRES ECLAIRCIE				ACCROISSEMENTS				AGE
		N	CG	G	V	N	CG	G	V	N	CG	G	V	ACG	AMG	ACV	AMV	PTV
20	13,3	2419	37	28,7	134	984	23	4,0	8	1435	45	22,8	125	1,85	1,34	18,8	6,7	134
25	16,8	1435	53	32,0	220	471	37	5,2	28	963	59	26,8	191	1,72	1,44	20,0	9,1	228
30	20,1	963	68	35,4	291	266	50	5,4	39	698	74	30,1	252	1,59	1,49	20,3	10,9	328
35	23,0	698	83	38,0	354	166	63	5,2	45	532	88	32,7	308	1,46	1,50	20,1	12,3	429
40	25,6	532	97	40,0	409	111	75	5,0	48	421	102	35,1	360	1,35	1,50	19,6	13,2	530
45	27,9	421	112	41,8	459	78	87	4,7	49	342	117	37,1	409	1,25	1,48	19,1	14,0	628
50	30,0	342	126	43,4	505	58	100	4,5	51	285	131	38,8	454	1,17	1,46	18,5	14,5	724
55	31,9	285	140	44,7	546	44	109	4,1	49	241	145	40,5	497	1,09	1,43	17,9	14,8	816
60	33,6	241	155	46,0	586	34	122	4,0	50	207	159	42,0	536	1,03	1,40	17,3	15,1	905
65	35,1	207	169	47,1	622	27	133	3,8	49	180	174	43,3	573	0,97	1,37	16,7	15,3	992
70	36,5	180	183	48,2	657	22	146	3,7	49	159	188	44,5	608	—	1,35	—	15,4	1075

(1) Légende : voir texte page 338 (point 4).