

DÉTERMINATION DE LA BIOMASSE DE L'ÉPINETTE NOIRE AU QUÉBEC

D. Ouellet et G. Frisque
 Centre de recherches forestières des Laurentides
 1080 Route du Villon, C.P. 3800
 Ste Foy, Qué. G1V 4C7



L'épinette noire est l'essence commerciale la plus importante au Québec (1,475 millions de m³). Afin de détecter d'éventuelles variations régionales, près de 900 tiges d'épinette noire ont été échantillonnées dans la région de Chibougamau (Centre du Québec), 90 dans la région de Lebel-sur-Quévillon (Ouest) et 90 au nord de Baie-Comeau (Est). Chaque parcelle-échantillon d'une superficie de 0.04 ha est composée de 30 arbres-échantillons dont 20 arbres de DHP supérieur à 9 cm, choisis proportionnellement au volume sur pied (nd^2) (n = nombre de tiges par classe de diamètre; d = diamètre de la classe). Pour les arbres de moins de 9 cm au DHP, 2 arbres par classe de diamètre ont été échantillonnés.

Des équations permettant d'obtenir les masses anhydres et vertes totales de l'arbre et de chacune de ses composantes ont été établies. Aucune mesure n'a été effectuée pour la partie souterraine de l'arbre.

Black spruce is the first commercial species in Quebec with 1,475 million m³ of standing timber. To detect possible regional variations, about 900 black spruce trees were sampled in the Chibougamau area (Central Quebec) 90 in the Lebel-sur-Quévillon area (western Quebec) and 90 north of Baie-Comeau (eastern Quebec). Each sample plot (0.04 ha in area) is made up of 30 sample trees, from which 20 trees of 9 cm d.b.h. and more are selected proportionally to the standing volume (nd^2) (n = number of stems in a given d.b.h. class; d = d.b.h. of the given class). For trees less than 9 cm 2 trees were sampled in every d.b.h. class.

Equations were calculated to obtain green and dry weights of the entire above-ground tree and for each component. No data were taken for the below-ground part of the tree.

INTRODUCTION

L'épinette noire (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.) est l'essence forestière la plus importante au Québec. Elle représente un volume marchand brut de 1.5 milliard de m³ environ, soit 30% du volume du bois sur pied dans la province. Afin de pouvoir estimer la biomasse de l'épinette noire au Québec, le Centre de Recherches Forestières des Laurentides a échantillonné 1 091 tiges d'épinette noire. De ce nombre, l'échantillonnage de 900 tiges a été effectué à contrat (Projet ENFOR P-225) par un bureau d'ingénieurs forestiers conseils, le Groupe Poulin, Thériault Limitée.

INTRODUCTION

Black spruce (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.) is the most important forest species in Quebec. It represents a merchantable gross volume of 1.5 billion m³ approximately, i.e. 30% of the provincial standing wood volume. In order to estimate black spruce biomass in the province, 1 091 black spruce trees were sampled in Quebec by the Laurentian Forest Research Centre. Out of this number, 900 trees were sampled under contract (ENFOR Project P-225) by Le Groupe Poulin, Thériault Limitée.

L'épinette noire étant distribuée à travers toute la partie septentrionale de la forêt québécoise, soit une bande de 1 600 km de longueur environ, l'échantillonnage a été conçu de façon à détecter d'éventuelles variations d'est en ouest dans la biomasse totale de l'arbre ou de ses composantes. Pour des raisons économiques, l'échantillonnage a été effectué à trois endroits, soit Lebel-sur-Quévillon (90 arbres), Chibougamau (900 arbres) et Baie-Comeau (101 arbres). Les peuplements sélectionnés étaient typiques de la pessière à épinette noire mûre de la forêt boréale de l'Est du Canada.

METHODOLOGIE

1. ACQUISITION DES DONNEES

Trente parcelles-échantillons ont été établies dans la région de Chibougamau, réparties sur une superficie de 20 km carrés environ, tandis que respectivement 3 et 4 parcelles ont été établies à Lebel (250 km à l'Ouest) et à Baie-Comeau (400 km à l'Est). Toutes les parcelles-échantillons étaient circulaires et d'une superficie de 0.04 ha. Dans chaque parcelle-échantillon, 20 arbres de 9 cm et plus au DHP ont été sélectionnés proportionnellement à nD^2 (où n = le nombre total de tiges observées dans une classe de DHP donnée et D^2 = DHP de la classe au carré). Un échantillonnage additionnel de 10 arbres de moins de 9 cm au DHP a été effectué dans chaque parcelle, soit 2 tiges pour chaque classe de 2, 4, 6 et 8 cm au DHP et 1 tige pour chaque classe de hauteur, soit de 0.51 à 1.0 m et de 1.01 à 1.50 m, lorsque le DHP était inférieur à 1 cm.

La procédure d'échantillonnage de la biomasse de l'arbre correspond à celle décrite par Alemdag (1980), à quelques modifications près. L'échantillonnage n'a porté que sur les arbres vivants. Toutes les pesées ont été effectuées avec une précision minimale de 1%. Les échantillons ont été séchés au four, à 105°C pendant 24 heures, puis pesés. Il faut souligner que l'analyse et les résultats qui suivent ne portent que sur les arbres de DHP supérieur à 9 cm.

2. ANALYSE

Le modèle, adopté pour la prédiction de la biomasse de l'épinette noire, a la forme générale linéaire suivante:

$$Y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n,$$

où x_1 est égal à 1 et x_2 à x sont fonctions du DHP et de la hauteur totale de l'arbre. La régression par étape, par les moindres carrés ordinaires, a été utilisée pour le choix des variables indépendantes à introduire dans le modèle de la masse totale et de chacune des composantes de l'arbre. Les variables indépendantes soumises à la régression par étape ont été: $x_1=1$, $x_2=D$, $x_3=H$, $x_4=D^2$, $x_5=DH$, $x_6=D^2H$, où $D=DHP$ et $H=$ hauteur totale.

Black spruce being distributed throughout the northern part of Quebec's forest, i.e. a strip 1 600 km in length approximately, sampling has been designed in order to detect possible East to West variations in total tree mass or in its components. For economic reasons, sampling was carried out in three locations, i.e. Lebel-sur-Quévillon (90 trees), Chibougamau (900 trees) and Baie-Comeau (101 trees). Sampled stands were typical of the mature boreal black spruce forest in Eastern Canada.

METHODOLOGY

1. DATA COLLECTION

Thirty sample plots, distributed over approximately 20 km², were established in the Chibougamau area (central Quebec). Three sample plots were established in Lebel-sur-Quévillon (250 km West of Chibougamau) and four sample plots were located in Baie-Comeau (400 km East of Chibougamau). All sample plots were circular in shape and 0.04 ha in size. In each sample plot, 20 trees 9 cm and over at d.b.h. were selected proportionally to nD^2 (where n = total number of trees in a given d.b.h. class; D^2 = d.b.h. of the given class, squared). An additional sampling of 10 trees less than 9 cm at d.b.h. was taken in each sample plot, i.e. 2 trees for every 2, 4, 6, and 8 cm d.b.h. class and one tree for every height class, i.e. 0.51 to 1.0 m and 1.01 to 1.50 m in height when d.b.h. was less than 1 cm. Biomass sampling was

carried out following the method proposed by Alemdag (1980), with a few exceptions. Only living trees were sampled. All weighings were carried out with a precision of at least 1%. Samples were oven-dried at 105°C for 24 hours, then reweighed. It should be stressed, at this point, that the following analysis and results deal only with trees 9 cm and over at d.b.h.

2. ANALYSIS

The model, chosen for black spruce biomass prediction, is of the following general linear form:

$$Y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n,$$

where x_1 is equal to 1 and x_2 to x are functions of d.b.h. and total height of the tree. Stepwise regression, using ordinary least squares, has been used to select the independent variables to be included in the biomass prediction model for the total tree mass and for each of the tree components mass. Independent variables included in the stepwise regression were: $x_1=1$, $x_2=D$, $x_3=H$, $x_4=D^2$, $x_5=DH$, $x_6=D^2H$, where $D=d.b.h.$ and $H=$ total height.

L'analyse graphique des résidus a permis de déceler une forte hétéroscédasticité. Pour remédier à ce problème, les variables ont été transformées par le facteur de pondération Z (y/Z , x_1/Z , x_2/Z , ..., x_n/Z). La variance conditionnelle des y_i , pour une série x_{1i} , x_{2i} , ..., x_{ni} donnée, est égale à $Z^2\sigma_{yy}$ où Z^2 peut être déterminé pour chaque arbre échantillonné et σ_{yy} est une constante inconnue (Briggs et Cunia, 1982). La représentation graphique des variances de y_i calculées par classe de diamètre, en fonction des variables indépendantes D , D^2 et D^2H , permet de déterminer le facteur de pondération Z . Celui-ci est représenté par la variable indépendante à laquelle les variances de y_i sont proportionnelles.

RESULTATS

Les coefficients des régressions pondérées ont été calculés afin d'estimer les masses vertes et anhydres de la partie aérienne de l'arbre (arbre total), de la tige totale, du bois de la tige, de l'écorce de la tige, de la tige marchande (9 cm au fin bout), de la cime, et des branches mortes. Le tableau 1 présente, à titre d'exemple, les coefficients des équations obtenues pour la masse anhydre de l'arbre au complet, de la tige totale et de la cime. On y indique également le facteur de pondération utilisé, la valeur du R^2 , l'erreur-type de l'estimé (SEE), la masse moyenne et le domaine d'applicabilité. Ces résultats sont présentés pour les 3 régions échantillonnées, soit Chibougamau, Baie-Comeau et Lebel-sur-Quévillon.

Il faut noter que la sélection des variables indépendantes, utilisées dans chaque modèle, a été faite avec les 600 tiges de 9 cm et plus au DHP récoltées à Chibougamau. Les modèles, obtenus pour la masse totale de l'arbre et de ses composantes, ont été appliqués aux régions de Lebel-sur-Quévillon et de Baie-Comeau, en utilisant les facteurs de pondération retenus pour la région de Chibougamau; ceci afin de permettre la comparaison des équations des trois régions. La comparaison des équations a été effectuée par le test de Kozak (1970) et a donné les résultats présentés au tableau 2. Au seuil de signification de 95%, l'hypothèse de parallélisme et celle de la coïncidence sont rejetées lorsque les statistiques calculées F_c sont supérieures aux valeurs de référence F_t .

A graphic analysis of residuals allowed for the detection of a strong heteroscedasticity. To correct this problem, variables have been transformed by the weighting factor Z (y/Z , x_1/Z , x_2/Z , ..., x_n/Z). Conditional variance of y_i for a given x_{1i} , x_{2i} , ..., x_{ni} is equal to $Z^2\sigma_{yy}$, where Z^2 may be calculated for each sampled tree and σ_{yy} is an unknown constant (Briggs and Cunia, 1982). Calculated variances of y_i , by diameter class, were graphically plotted against the independent variables D , D^2 and D^2H . This permitted determination of Z , which is equal to the independent variable to which the variances of y_i are proportional.

RESULTS

The coefficients of the weighted regressions were calculated to estimate green and oven-dry masses of the aerial portion of the tree (total tree), total stem, stem wood, stem bark, merchantable stem (9 cm top diameter), crown, and dead branches. Table 1 shows, as an example, coefficients of equations calculated for total tree, total stem, and crown oven-dry mass. The weighting factor, R^2 value, standard error of the estimate (SEE), mean mass, and d.b.h. and height range are also indicated. These results are given for the three sampled regions, i.e. Chibougamau, Baie-Comeau and Lebel-sur-Quévillon.

It should be noted that selection of independent variables, used in each model, was made from the 600 trees, 9 cm and over at d.b.h., which were collected in the Chibougamau area. Models, obtained for the total tree mass and for the different tree components masses were applied on the data pertaining to Lebel-sur-Quévillon and Baie-Comeau, with the weighting factors selected for the Chibougamau region, in order to allow for comparison of equations from the three regions. A test, suggested by Kozak (1970), has been used to compare the three equations. Results are given in table 2. For a 95% confidence, parallelism and coincidence assumptions are rejected if calculated F_c values are higher than reference F_t values.

Tableau 1: Coefficients et statistiques de certaines équations des masses anhydres, pour trois régions
 Table 1 : Coefficients and statistics of some oven-dry mass equations, for three regions

VARIABLE DEPENDANTE DEPENDENT VARIABLE	b_1^*	b_3 (D^2)	b_5 (DH)	b_6 (D^2H)	Z^{**}	R^2	SEE (kg)	MOY. MEAN (kg)	DOMAINE RANGE
CHIBOUGAMAU (n = 600)									
Masse totale Total mass	-3.6004	0.19631		0.00893	D^2	0.96	29.1	88.4	D (cm) 9.0 - 32.9
Masse tige totale Total stem mass ***	-1.1267	0.04784	0.04343	0.01184	D^2H	0.98	23.9	73.1	H (m) 5.7 - 23.0
Masse cime Crown mass	11.2191	0.09686	-0.06271		D^2H	0.57	9.5	22.9	
LEBEL-SUR-QUEVILLON (n = 60)									
Masse totale Total mass	-3.0181	0.23022		0.00843	D^2	0.95	14.9	132.9	D (cm) 11.1 - 30.4
Masse tige totale Total stem mass ***	-9.6717	0.05471	0.14360	0.00890	D^2H	0.97	9.8	113.7	H (m) 12.1 - 22.8
Masse cime Crown mass	17.9136	0.15836	-0.14502		D^2H	0.55	10.5	26.9	
BAIE-COMEAU (n = 71)									
Masse totale Total mass	3.1088	0.10479		0.01450	D^2	0.89	18.8	103.5	D (cm) 9.7 - 26.5
Masse tige totale Total stem mass ***	-5.4858	-0.00799	0.17910	0.01020	D^2H	0.93	12.8	88.8	H (m) 8.8 - 22.3
Masse cime Crown mass	12.2687	0.08362	-0.05392		D^2H	0.34	8.2	22.9	
<p>* b_1 : ordonnée à l'origine - intercept</p> <p>** Z : facteur de pondération - weighting factor</p> <p>*** Cime - Crown: la cime inclut toutes les branches vivantes et la partie du tronc dont le diamètre est inférieur à 9 cm - the crown represents all living branches and the stem section which has a diameter less than 9 cm.</p>									

Tableau 2: Résultats de la comparaison des équations de régression
 Table 2 : Results of regression equations comparison

VARIABLE DEPENDANTE DEPENDENT VARIABLE	KOZAK (1970)	
	Parallélisme Parallelism	Coïncidence Coincidence
Masse totale anhydre Oven-dry total mass	F = 1.28 $F_t^C = 2.37$	F = 12.60 $F_t^C = 3.00$
Masse anhydre tige totale Oven-dry total stem mass	F = 0.27 $F_t^C = 2.10$	F = 16.06 $F_t^C = 3.00$
Masse anhydre cime Oven-dry crown mass	F = 2.76 $F_t^C = 2.37$	

DISCUSSION

Les valeurs apparaissant au tableau 1, à la colonne "Domaine", indiquent que l'échantillonnage a effectivement couvert l'ensemble des tiges de 9 cm et plus au DHP. Les valeurs du R^2 sont élevées, sauf en ce qui concerne les masses vertes et anhydres de la cime et celles des branches mortes. Les résultats du tableau 2 indiquent que les équations des trois régions sont statistiquement différentes. Les équations de la masse totale anhydre et de la masse anhydre de la tige totale sont parallèles mais les hyperplans ne coïncident pas, alors que les équations de la masse anhydre de la cime ne sont pas parallèles. Les comparaisons des équations des différentes régions, effectuées deux par deux, ont également été faites. Les résultats indiquent les mêmes tendances que celles figurant au tableau 2.

Si l'on applique les équations de la masse anhydre totale des régions de Lebel-sur-Quévillon et de Baie-Comeau aux 600 arbres de Chibougamau, on obtient les valeurs moyennes de 97.4 et 95.2 kg, soit une différence de 10 et 8% respectivement par rapport à une valeur moyenne observée, à Chibougamau, de $88.4 \text{ kg} \pm 4.6$ (intervalle de confiance autour de la moyenne, à 95% de probabilité). Pour la tige totale anhydre, les valeurs moyennes calculées sont de 79.1 et 80.2 kg avec les équations de Lebel-sur-Quévillon et Baie-Comeau, alors que la valeur moyenne observée est de $73.1 \text{ kg} \pm 3.9$ à Chibougamau, soit une différence respective de 8 et 10%. Pour la masse anhydre de la cime, les valeurs moyennes sont de 26.5 et 22.3 kg lorsque calculées avec les équations des régions de l'Est et de l'Ouest et la valeur moyenne, observée à Chibougamau, est de $22.9 \text{ kg} \pm 1.0$ soit une différence respective de 16 et 3%.

Pour la classe de DHP de 14 cm, où la plus grande différence est observée entre les trois régions, les hauteurs totales moyennes et les masses totales anhydres moyennes sont respectivement de 15.5 m et 74.2 kg; 13.4 m et 59.0 kg; 13.9 m et 65.6 kg à Lebel-sur-Quévillon, Chibougamau et Baie-Comeau. La hauteur moyenne, de la classe de 14 cm au DHP, à Lebel-sur-Quévillon (15.5 m) est nettement supérieure, il en est de même pour la masse totale, qui est supérieure de 15.2 kg, soit 26%. Dans le cas des épinettes noires de la classe de 22 cm au DHP, les valeurs sont, toujours pour la hauteur moyenne et la masse totale anhydre moyenne, de 18.0 m et 177.2 kg; 18.2 m et 164.9 kg; 18.5 m et 164.2 kg, respectivement pour Lebel-sur-Quévillon, Chibougamau et Baie-Comeau. Même si les hauteurs totales moyennes se stabilisent pour les forts diamètres, la masse totale moyenne demeure supérieure (7%) à Lebel-sur-Quévillon.

Il convient, en terminant, de noter que l'additivité des équations n'a pas été assurée à ce stade-ci. D'autre part, les tiges de 9 cm et moins au DHP seront intégrées aux tiges de 9 cm et plus, si la précision des nouvelles équations est acceptable. Dans le cas contraire, des équations différentes seront calculées.

DISCUSSION

Figures given in Table 1, in the column "Range" show that sampling effectively covered the bulk of trees 9 cm and over at d.b.h. R^2 are high, except for green and oven-dry mass of the crown and oven-dry mass of dead branches. Results in Table 2 show that the equations of the three regions are statistically different. Equations of total oven-dry mass and total stem oven-dry mass are parallel but do not coincide, whereas equations of oven-dry mass of the crown are not parallel. Comparison of equations of the three regions, made two by two, have also been carried out. Results show the same tendencies as illustrated in Table 2.

If total tree oven-dry mass equations obtained from the Lebel-sur-Quévillon and Baie-Comeau areas are applied to the 600 trees of the Chibougamau area, the mean total oven-dry masses are 97.4 kg and 95.2 kg, i.e. a difference of 10% and 8% respectively, compared to the mean observed value, in Chibougamau, of $88.4 \text{ kg} \pm 4.6$ kg (confidence limit on the mean, at 95% probability level). For total stem oven-dry masses, mean values obtained from Lebel-sur-Quévillon and Baie-Comeau are 79.1 kg and 80.2 kg; whereas the mean observed value in Chibougamau is $73.1 \text{ kg} \pm 3.9$, i.e. a difference of 8% and 10% respectively. Mean values calculated with equations from eastern and western regions, for crown oven-dry masses, are 26.5 kg and 22.3 kg compared to the Chibougamau (central) observed mean value of $22.9 \text{ kg} \pm 1.0$, i.e. a difference of 16% and 3% respectively.

As far as the 14 cm d.b.h. class is concerned, i.e. where the biggest difference exists between the three regions, mean heights and mean oven-dry total masses are 15.5 m and 74.2 kg; 13.4 m and 59.0 kg; 13.9 m and 65.6 kg for Lebel-sur-Quévillon, Chibougamau and Baie-Comeau respectively. The mean height of the 14 cm d.b.h. class is higher (15.5 m) at Lebel-sur-Quévillon and so is the total tree mass, which is 15.2 kg greater, i.e. 26%. For black spruce trees in the 22 cm d.b.h. class, figures for mean height and mean oven-dry total mass are 18.0 m and 177.2 kg; 18.2 m and 164.9 kg; 18.5 m and 164.2 kg for Lebel-sur-Quévillon, Chibougamau and Baie-Comeau respectively. Even if the mean total heights vary less when d.b.h. increases, mean total oven-dry mass is greater (7%) for the Lebel-sur-Quévillon area.

In concluding, it has to be said that equations additivity has not yet been assured. Furthermore, trees 9 cm and less at d.b.h. will be combined with trees 9 cm and over, if the precision of the new equations prove to be acceptable. If not, different equations will be calculated.

REFERENCES

- Alemdag, I.S., 1980. Manuel de collecte et de traitement des données pour l'établissement des relations de la biomasse forestière. Inst. For. Nat. Petawawa, Serv. Can. For., Rapp. Inf. PI-X-4, 40 p.
- Briggs, E.F. and T. Cunia, 1982. Effect of cluster sampling in biomass tables construction: linear regression models. Can. J. For. Res. (in press).
- Kozak, A., 1970. A simple method to test parallelism and coincidence for curvilinear, multiple linear and multiple curvilinear regressions. Fac. For., Univ. British Columbia, Vancouver, 18 p.