



Environnement  
Canada

Environment  
Canada

Service  
canadien des  
forêts

Canadian  
Forestry  
Service

# Équations de biomasse pour l'épinette noire au Québec

D. Ouellet



Rapport d'information LAU-X-60

Centre de recherches forestières des Laurentides

Énergie  
**ENFOR**  
de la Forêt

**CENTRE DE RECHERCHES FORESTIÈRES DES  
LAURENTIDES**

*Le Centre de recherches forestières des Laurentides (CRFL) est un des six établissements régionaux du Service canadien des forêts (SCF), au sein d'Environnement Canada. Le Centre poursuit des travaux de recherche et de développement pour un aménagement et une utilisation plus rationnels des ressources forestières du Québec. En collaboration avec divers groupes et organismes québécois, les chercheurs du CRFL visent à solutionner les problèmes majeurs en foresterie au Québec et à développer des méthodes acceptables pour l'amélioration et la sauvegarde de l'environnement forestier.*

*Au Québec, les activités du SCF portent sur trois éléments majeurs: la recherche dans le domaine des ressources forestières, la recherche dans le domaine de la protection et enfin, le développement forestier. La plupart des travaux sont entrepris pour répondre aux besoins des organismes intéressés à l'aménagement forestier, surtout dans le but d'améliorer la protection, la croissance et la qualité de la ressource forestière de la région. L'information est diffusée sous forme de rapports scientifiques, de feuillets techniques ou autres publications dans le but d'atteindre toutes les catégories d'utilisateurs des résultats de recherche.*

**LAURENTIAN FOREST RESEARCH CENTRE**

*The Laurentian Forest Research Centre (LFRC) is one of six regional establishments of the Canadian Forestry Service (CFS), within Environment Canada. The Centre's objective is to promote, through research and development, the most efficient and rational management and use of Quebec's forest. In cooperation with several Quebec agencies, scientists at LFRC work at solving major forestry problems and develop methods to improve and to protect the forest environment.*

*In the province of Quebec, CFS's program consists of three major elements: forest resources research, forest protection research, and forest development. Most of the research is undertaken in response to the needs of forest management agencies, with the aim of improving the protection, growth, and quality of the region's forest resource. The results of this research are distributed to potential users through scientific and technical reports and other publications.*

**Équations de biomasse  
pour l'épinette noire au Québec**

Projet ENFOR P-225

D. Ouellet

Rapport d'information LAU-X-60  
1983

Centre de recherches forestières des Laurentides  
Service canadien des forêts  
Environnement Canada

Des exemplaires vous sont offerts gratuitement au:  
Centre de recherches forestières des Laurentides  
Service canadien des forêts  
Environnement Canada  
1080, route du Vallon  
C.P. 3800  
Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7

N° de Catalogue Fo46-18/60F  
ISSN 0703-2196  
ISBN 0-662-92292-1

© Ministère des Approvisionnements et Services Canada, 1983

*Also available in English under the title  
"Biomass equations for black spruce in Québec".*

## AVANT-PROPOS

ENFOR est l'acronyme bilingue du programme de recherche et de développement en matière d'Énergie FOREstière (ENergy from the FORest) du Service canadien des Forêts, qui vise à s'assurer les connaissances et la compétence technique nécessaires afin de favoriser une forte augmentation de la contribution, à moyen et à long terme, de la biomasse forestière à la production d'énergie primaire de notre pays. Ce programme s'inscrit dans le cadre d'une entreprise beaucoup plus vaste du gouvernement visant à promouvoir le développement et l'utilisation de l'énergie renouvelable dans le but de réduire notre dépendance à l'égard du pétrole et des autres sources énergétiques non renouvelables.

Les projets d'ENFOR sont sélectionnés parmi une série de propositions présentées par des organisations de recherches privées et publiques, selon le bien-fondé scientifique et technique de chacune et à la lumière des objectifs et des priorités du programme. Quelque soit l'origine de la proposition, les projets sont surtout réalisés par contrat. Des informations additionnelles sur le programme ENFOR peuvent être obtenues en s'adressant au:

Secrétariat ENFOR  
Service canadien des Forêts  
Ministère de l'Environnement  
Ottawa (Ontario)  
K1A 1G5

...ou au directeur de l'établissement d'où provient le présent rapport.

Ce rapport, qui découle du projet ENFOR P-225, a été préparé par le Service canadien des Forêts. Les données recueillies dans la région de Chibougamau sont le résultat d'un contrat confié au Groupe Poulin, Thériault Ltée (dossier MAS 10SD-KL004-1-C-007).

Des équations de prédiction de la biomasse des autres essences forestières du Québec sont actuellement en préparation et feront l'objet d'une publication ultérieure.



## TABLE DES MATIÈRES

	Page
AVANT-PROPOS	i
RESUMÉ	v
ABSTRACT	v
INTRODUCTION	1
MÉTHODOLOGIE	1
RÉSULTATS	6
DISCUSSION	7
CONCLUSION	7
REMERCIEMENTS	10
RÉFÉRENCES	10
ANNEXE 1 Masses vertes et anhydres de l'épinette noire et de ses principales composantes, en fonction du diamètre à hauteur de poitrine	13
ANNEXE 2 Procédure d'échantillonnage	21





## RÉSUMÉ

Des équations de prédiction de la biomasse de l'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) BSP) ont été construites à partir d'un échantillonnage effectué dans trois régions du Québec, soit: Lebel-sur-Quévillon, Chibougamau et Baie-Comeau. Deux séries d'équations sont présentées afin de prédire les masses vertes et anhydres de l'arbre total (partie située au-dessus du niveau du sol uniquement), de la tige, de la partie marchande de la tige, de son bois et de son écorce, de la partie non-marchande de la tige, et de la cime. La première série d'équations utilise le diamètre à hauteur de poitrine et la hauteur totale de l'arbre comme variables explicatives tandis que la deuxième série d'équations utilise le diamètre à hauteur de poitrine.

## ABSTRACT

Biomass prediction equations for black spruce (*Picea mariana* (Mill.) BSP) were developed from field sampling carried out in three regions of Quebec: Lebel-sur-Quévillon, Chibougamau, and Baie-Comeau. Two series of equations are presented for predicting the green and oven-dry masses of the total above-ground tree, stem, merchantable stem, wood and bark of the merchantable stem, unmerchantable stem, and crown. The first set of equations uses diameter at breast height and total height as predictors, while the second series uses only diameter at breast height.



## INTRODUCTION

La biomasse forestière pourrait, dans un avenir plus ou moins proche, constituer une source d'énergie renouvelable importante au Canada. C'est particulièrement vrai pour le Québec où le volume ligneux total disponible annuellement est estimé à 35 millions de mètres cubes, soit plus de 15 millions de tonnes anhydres (Lussier et Maranda 1982).

Le but de ce rapport est de fournir des équations de prédiction de biomasse pour l'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) BSP) au Québec. L'épinette noire est l'essence forestière commerciale la plus importante au Québec avec 44 % du volume marchand brut sur les forêts publiques accessibles.<sup>1</sup> L'utilisation de ces équations permettra de quantifier cette ressource en terme de masse que ce soit pour des fins d'aménagement ou d'exploitation. Les équations sont conçues pour être appliquées aux données d'inventaire volumétrique où le paramètre le plus fréquemment mesuré est le diamètre à hauteur de poitrine. Pour un nombre plus restreint d'arbres-échantillons, les paramètres mesurés lors de l'inventaire volumétrique conventionnel sont le diamètre à hauteur de poitrine et la hauteur totale. Aussi, deux séries d'équations ont été calculées. La première série a pour variables explicatives le diamètre à hauteur de poitrine et la hauteur totale et la deuxième série utilise le diamètre à hauteur de poitrine seulement. Les deux séries d'équations permettent de prédire les masses vertes et anhydres de l'arbre au complet et de ses composantes.

Les modèles retenus sont non-linéaires; cette forme permettant de prédire la biomasse de façon convenable (Baskerville 1965 et 1972; Hegyi 1972; Crow and Laidly 1980; Payandeh 1981).

## MÉTHODOLOGIE

L'échantillonnage de l'épinette noire a couvert trois régions du Québec, soit les régions de Lebel-sur-Quévillon, Chibougamau et Baie-Comeau,

---

1 Demers, D. Service de l'Inventaire forestier, Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, communication personnelle.

désignées dans le texte par les lettres L, C et B (figure 1). La région L fait partie de la région forestière B.4 de Rowe (1972). C'est dans la région C, appartenant à la région forestière B.1b de Rowe, qu'a été effectué la plus grande partie de l'échantillonnage. La région B se situe à la limite des régions forestières B.1a et B.1b de Rowe.

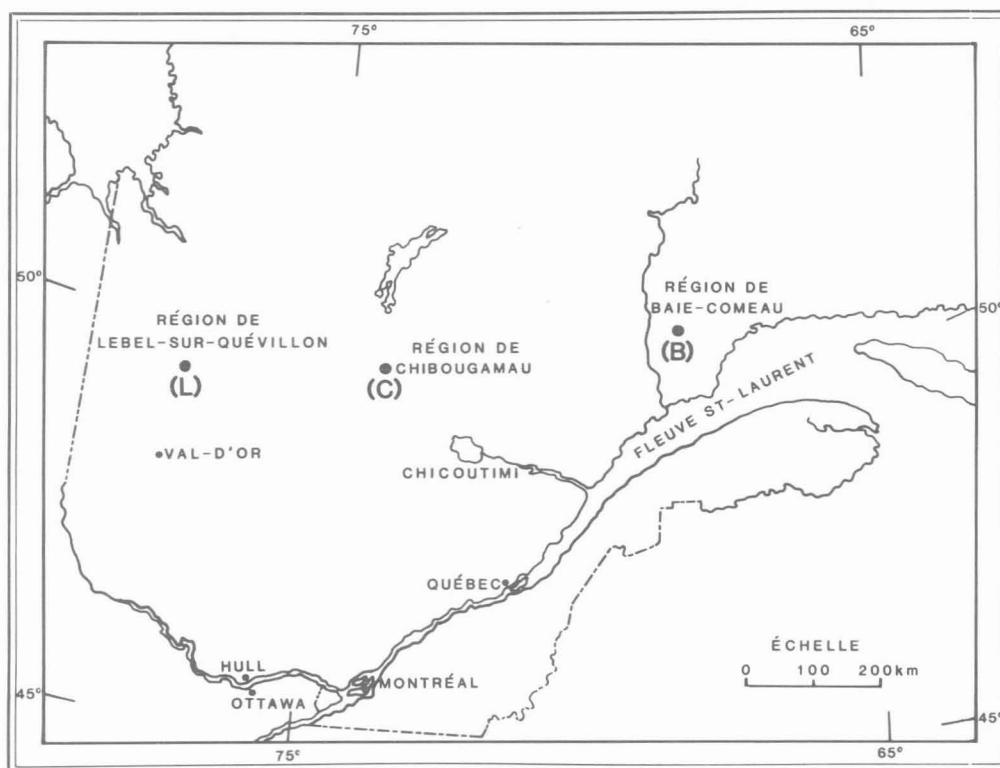


Figure 1. Localisation des régions échantillonnées

Un total de 734 arbres a été retenu pour cette étude. Ces arbres proviennent de 31 placettes échantillons de 0,04 ha, réparties en 3 placettes pour la région L (72 arbres), 24 placettes pour la région C (576 arbres) et 4 placettes pour la région B (86 arbres). La méthodologie utilisée pour les travaux d'échantillonnage sur le terrain et les travaux en laboratoire est présentée à l'annexe 2. Les statistiques descriptives des arbres pour les trois régions échantillonnées et pour l'ensemble des échantillons sont présentées au tableau 1. Les placettes échantillons ont également été classées selon l'indice de qualité de station de Linteau (1959). Leur réparti-

tion selon cet indice place 14 placettes dans la classe II de qualité élevée (328 arbres), 15 placettes dans la classe III de qualité moyenne (358 arbres) et 2 placettes dans la classe IV de qualité faible (48 arbres).

Les composantes de l'arbre utilisées pour l'étude de la biomasse de l'épinette noire sont pour les masses vertes et anhydres:

1. la masse totale de l'arbre, au-dessus du niveau du sol,
2. la tige;
3. la partie marchande de la tige (jusqu'à 9 cm au fin bout);
4. le bois de la partie marchande de la tige;
5. l'écorce de la partie marchande de la tige;
6. la partie non-marchande de la tige;
7. la cime, comprenant les branches vivantes, les aiguilles et les cônes.

Les modèles testés pour les équations se subdivisent en deux groupes, les modèles linéaires et non-linéaires. Les modèles linéaires sont de la forme générale:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_p x_p + e \quad (1)$$

où  $y$  est la masse d'une composante exprimée en kg;  $x_i$  ( $i = 1, \dots, p$ ) est fonction d'une combinaison du diamètre à hauteur de poitrine ( $D$ ) exprimée en cm et/ou de la hauteur totale ( $H$ ) exprimée en mètres. Ces modèles sont fréquemment utilisés pour la détermination de la biomasse (Alemdag 1981; Lavigne et van Nostrand 1981; Ker et van Raalte 1981). Le modèle non-linéaire utilisé avec  $D$  et  $H$  est de la forme:

$$y = b_1 D^{b_2} H^{b_3} + e \quad (2)$$

Les modèles linéaires ont donné des coefficients de détermination ( $R^2$ ) équivalents, en général, à ceux obtenus par le modèle non-linéaire. Ce critère d'ajustement n'est donc pas suffisant pour le choix du modèle. L'analyse des résidus a donc été utilisée pour juger de l'ajustement des

Tableau 1. Statistiques descriptives des arbres échantillonnés

		Nombre d'arbres	Moyenne	Limite		Écart- type
				Inf.	sup.	
Lebel-sur- Quévillon (Région L)	Age (années)	68	116,7	64	222	19,44
	DHP (cm)	72	16,21	3,20	30,40	6,02
	Hauteur totale (m)	72	15,31	3,30	22,77	4,95
	Masse de la cime (kg)	72	16,29	0,27	75,12	16,04
	Masse de la tige (kg)	72	94,21	0,09	345,20	67,28
	Masse de l'arbre (kg)	72	110,50	0,36	415,66	79,40
Chibougamau (Région C)	Age (années)	515	117,3	35	244	41,88
	DHP (cm)	576	13,63	3,10	32,90	5,74
	Hauteur totale (m)	576	12,28	2,66	21,70	4,59
	Masse de la cime (kg)	576	13,13	0,10	99,41	12,73
	Masse de la tige (kg)	576	57,04	0,58	259,14	50,43
	Masse de l'arbre (kg)	576	70,17	0,77	356,22	60,90
Baie Comeau (Région B)	Age (années)	81	138,1	54	224	36,09
	DHP (cm)	86	14,71	3,10	26,50	5,46
	Hauteur totale (m)	86	13,33	3,00	22,31	4,52
	Masse de la cime (kg)	86	12,00	0,60	45,56	10,21
	Masse de la tige (kg)	86	70,68	1,08	230,37	49,22
	Masse de l'arbre (kg)	86	82,68	1,76	263,10	56,85
Ensemble des trois régions	Age (années)	664	119,8	35	244	40,02
	DHP (cm)	734	14,01	3,10	32,90	5,78
	Hauteur totale (m)	734	12,70	2,66	22,77	4,71
	Masse de la cime (kg)	734	13,31	0,10	99,41	12,86
	Masse de la tige (kg)	734	62,28	0,09	345,20	53,33
	Masse de l'arbre (kg)	734	75,59	0,36	415,66	63,59

modèles aux données. Dans l'ensemble, le meilleur ajustement a été obtenu en utilisant le modèle (2), non-linéaire. Ce modèle présente les avantages d'être souple et de forme constante pour toutes les composantes, contrairement aux modèles linéaires dont la forme est souvent différente d'une composante à l'autre, lorsque la technique utilisée pour le choix des variables explicatives est la régression par étape.

Les coefficients du modèle (2) sont estimés par la méthode des moindres carrés avec itération (Jennrich 1977). Le désavantage de cette technique est que le minimum atteint par l'algorithme itératif peut être local ou global (Draper et Smith 1981). Cependant, pour les composantes

de l'épinette noire, la convergence s'est effectuée rapidement et les estimés des coefficients se sont avérés stables. Plusieurs auteurs (Smith et Grigal 1981; Payandeh 1981; Green et Grigal 1978; Crow et Laidly 1980; Stocks 1980) utilisent le modèle non-linéaire de préférence aux modèles linéaires. De plus, le modèle non-linéaire se base sur la mathématique alors que la forme des modèles linéaires demeure un choix statistique.

Dans la plupart des banques de données d'inventaire forestier, dont celle du Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, le paramètre disponible pour tous les arbres échantillonnés est le diamètre à hauteur de poitrine. La hauteur totale est habituellement dérivée de relations hauteur-diamètre, construites à partir d'un échantillonnage plus restreint d'arbres sur lesquels les deux paramètres ont été mesurés. C'est la raison pour laquelle une série d'équations avec D seul est présentée pour chaque composante et pour l'arbre total. Le modèle adopté pour cette série d'équations est:

$$y = b_1 D^{b_2} + e \quad (3)$$

Comme pour le modèle (2), les coefficients de régression sont déterminés par la méthode des moindres carrés avec itération.

L'inégalité de la variance des erreurs a été observée avec les données de biomasse. L'hypothèse de l'égalité des variances pour la méthode des moindres carrés se trouve ainsi violée. L'effet de cette violation est que les coefficients de régression sont toujours non-biaisés, mais ne sont plus à variance minimale. Les inférences statistiques (en particulier les intervalles de confiance des valeurs prédites ( $\hat{y}_i$ )) deviennent moins précises. Pour corriger cette situation, la méthode des moindres carrés pondérés a été utilisée:

$$\sum w_i (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (4)$$

où

$$w_i = \frac{k^2}{\sigma_i^2} \quad (5)$$

$k^2$  étant une constante et  $\sigma_i^2$  la variance.

Le facteur de pondération ( $w_i$ ) est inversement proportionnel à la variance. L'examen graphique des résidus ( $y_i - \hat{y}_i$ ) des moindres carrés ordinaires a montré que la variance des résidus augmente avec D. Cette constatation appuyée par la littérature sur la biomasse et le cubage des arbres, nous a permis de poser l'hypothèse suivante:

$$\sigma_i^2 = k^2 D_i^\delta \quad (6)$$

d'où

$$w_i = \frac{1}{D_i^\delta} \quad (7)$$

Le problème consiste donc à chercher la valeur  $\delta$  qui correspond au meilleur  $w_i$ . Cependant, les critères d'ajustement habituels ( $R^2$  et erreur-type de l'estimé (s)) sont inutilisables pour le choix de cette valeur. L'introduction de  $w_i$  dans l'équation (4) change l'échelle de y et rend incomparable les valeurs de  $R^2$  et s pour les différentes valeurs  $\delta$ . L'indice de Furnival (1961) a été utilisé pour déterminer la meilleure valeur de  $\delta$ . Il s'avère que pour toutes les composantes, sauf la partie non-marchande de la tige, ( $\delta = 4$ ) donne les meilleurs résultats. Pour la partie non-marchande de la tige, les meilleurs résultats sont obtenus sans pondération.

## RÉSULTATS

Le tableau 2 présente les coefficients du modèle utilisant D et H, le domaine d'applicabilité, le coefficient de détermination et l'erreur-type de l'estimé. Ces deux dernières statistiques ont été calculées à l'échelle originale. Les  $R^2$  sont généralement élevés, sauf pour les masses vertes et anhydres de la partie non-marchande de la tige qui sont de 0,33 et 0,34 respectivement. L'annexe 1 présente les tables de biomasse des principales composantes construites avec le modèle (2) incluant D et H. Les masses vertes et anhydres de l'épinette noire et des composantes sont données en kilogrammes. Le tableau 3 fournit une



information semblable à celle du tableau 2, soit les coefficients du modèle, le domaine d'applicabilité, le coefficient de détermination et l'erreur-type de l'estimé, mais pour le modèle utilisant uniquement D comme variable explicative. Les valeurs de  $R^2$  sont plus faibles que celles obtenues avec le modèle utilisant D et H et les valeurs de s sont plus élevées.

La procédure mathématique pour l'établissement des intervalles de confiance des valeurs prédites n'est pas standard, mais propre aux modèles eux-mêmes. Le développement de cette procédure nécessite le concours de mathématiciens et devrait être disponible sous peu.

### DISCUSSION

La contribution de H, incluse comme variable explicative dans l'équation, est généralement importante sauf pour les masses vertes et anhydres de la cime et de l'arbre total, où  $R^2$  et les s obtenus avec les modèles 2 et 3 sont pratiquement identiques. Généralement, lorsque D seul est utilisé, l'équation obtenue est dite locale et lorsque D et H sont utilisés conjointement, l'équation est dite générale. L'échantillonnage de l'épinette noire, effectué lors de cette étude, couvre des qualités de stations élevées, moyennes et faibles, et certaines placettes sont situées dans des régions écologiques différentes. Il semble donc que l'utilisation de D comme seul prédicteur fournit des équations aussi générales que celles utilisant D et H, pour les masses vertes et anhydres de la cime et de l'arbre total.

### CONCLUSION

L'établissement d'équations, applicables par pied d'arbre, pour prédire la biomasse d'une essence forestière constitue la première étape pour estimer la masse verte et anhydre de l'arbre, de ses composantes ou d'un peuplement forestier. Ces équations devraient permettre de prédire la biomasse de l'épinette noire de façon suffisamment précise pour les fins

Tableau 2. Equations de prédiction des masses vertes et anhydres de l'épinette noire

$$\text{modèle } \hat{y} = b_1 D^{b_2} H^{b_3}$$

	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	APPLICABILITE		R <sup>2</sup>	s
				D (cm)	H (m)		
<u>MASSE VERTE</u>							
Totale	0,169435	2,148830	0,278921	3,1-32,0	2,7-22,8	0,96	20,65
Tige	0,072632	1,818902	0,859105	3,1-32,0	2,7-22,8	0,98	11,84
Partie marchande de la tige	0,017099	2,137764	1,006477	9,1-32,0	5,7-22,8	0,96	16,80
Partie non- marchande de la tige	23,728418	-1,037339	0,854697	9,1-32,0	5,7-22,8	0,33	2,58
Cime	0,170944	2,872389	-1,106552	3,1-32,0	2,7-22,8	0,71	12,11
Bois partie marchande de la tige	0,013777	2,129489	1,045192	9,1-32,0	5,7-22,8	0,96	15,11
Écorce partie marchande de la tige	0,003593	2,182870	0,768734	9,1-32,0	5,7-22,8	0,91	2,96
<u>MASSE ANHYDRE</u>							
Totale	0,082980	2,082048	0,417362	3,1-32,0	2,7-22,8	0,97	10,63
Tige	0,035541	1,752414	1,000382	3,1-32,0	2,7-22,8	0,98	6,73
Partie marchande de la tige	0,007849	2,050743	1,193660	9,1-32,0	5,7-22,8	0,96	9,37
Partie non- marchande de la tige	12,525543	-1,235576	1,087412	9,1-32,0	5,7-22,8	0,34	1,68
Cime	0,085294	2,888177	-1,075217	3,1-32,0	2,7-22,8	0,71	6,98
Bois partie marchande de la tige	0,006308	2,034229	1,243561	9,1-32,0	5,7-22,8	0,96	8,49
Écorce partie marchande de la tige	0,001777	2,170398	0,839864	9,1-32,0	5,7-22,8	0,90	1,85

Tableau 3. Equations de prédiction des masses vertes et anhydres de l'épinette noire

$$\text{modèle } \hat{y} = b_1 D + b_2 D^2$$

	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	APPLICABILITÉ D (cm)	R <sup>2</sup>	s
<u>MASSE VERTE</u>					
Totale	0,186673	2,381657	3,1-32.0	0,95	22,52
Tige	0,100993	2,525641	3,1-32.0	0,94	20,71
Partie marchande de la tige	0,038946	2,814353	9,1-32.0	0,90	25,35
Partie non-marchande de la tige	38,167971	-0,382850	9,1-32.0	0,17	2,87
Cime	0,161253	1,828947	3,1-32.0	0,62	13,70
Bois partie marchande de la tige	0,032653	2,829444	9,1-32.0	0,90	23,03
Écorce partie marchande de la tige	0,006513	2,711091	9,1-32.0	0,88	3,37
<u>MASSE ANHYDRE</u>					
Totale	0,096332	2,428870	3,1-32.0	0,96	12,66
Tige	0,053649	2,565617	3,1-32.0	0,94	13,16
Partie marchande de la tige	0,021019	2,850562	9,1-32.0	0,90	15,91
Tige non-marchande	22,910667	-0,401920	9,1-32.0	0,14	1,92
Cime	0,080830	1,873260	3,1-32.0	0,63	7,87
Bois tige marchande	0,017698	2,865686	9,1-32.0	0,90	14,51
Écorce tige marchande	0,003456	2,742218	9,1-32.0	0,86	2,15

recherchées, surtout en ce qui concerne les équations de l'arbre au total et de la tige. Pour certaines composantes, dont la partie marchande de la tige, son bois, son écorce et la cime, les prédicteurs actuellement disponibles dans les banques d'inventaire conventionnel ne permettent pas un ajustement supérieur à celui indiqué dans ce travail.

#### REMERCIEMENTS

Le Groupe Poulin Thériault Ltée a récolté les données de la région de Chibougamau suite à un contrat financé par le programme ENFOR. Je voudrais remercier M. J.B. Breton pour le traitement des échantillons.

#### RÉFÉRENCES

- Alemdag, I.S. 1981. Équations de masse pour la portion épigée de six essences de feuillus dans des peuplements naturels de la forêt expérimentale de Petawawa. Serv. Can. For., Inst. for. nat. Petawawa. Rapp. Inf. PI-X-6(F). 10 p.
- Baskerville, G.L. 1965. Estimating dry weight of tree components and total standing crop in conifer stands. *Ecology*. 46:867-869.
- Baskerville, G.L. 1972. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass. *Can. J. For. Res.* 2:49-53.
- Crow, T.W; Laidly, P.R. 1980. Alternative models for estimating woody plant biomass. *Can. J. For. Res.* 10:367-370.
- Draper, N.R; Smith. H. 1981. *Applied regression analysis*. 2nd ed. John Wiley and Sons, Inc. New York, N.Y. 709 p.
- Furnival, G.M. 1961. An index for comparing equations used in constructing volume tables. *For. Sci.* 7:337-341.
- Green, D.C; Grigal, D.F. 1978. Generalized biomass estimation equations for jack pine (*Pinus banksiana* Lamb.). *Minnesota For. Res. Note* 268. 4 p.
- Hegyí, F. 1972. Dry matter distribution in jack pine stands in northern Ontario. *For. Chron.* 48:193-197.

- Jennrich, R. 1981. Nonlinear regression and maximum likelihood estimation. Pages 289-344 in W.J. Dixon, ed. BMDP statistical software. Univ. California Press, Berkeley, Calif.
- Ker, M.F; van Raalte, G.D. 1981. Tree biomass equations for *Abies balsamea* and *Picea glauca* northwestern New Brunswick. Can. J. For. Res. 11:13-17.
- Lavigne, M.B; van Nostrand, R.S. 1981. Biomass equations for six tree species in central Newfoundland. Can. For. Serv., Newfoundland For. Res. Centre. Inf. Rep. N-X-199. 51 p.
- Linteau, A. 1959. Classification des stations forestières de la section des conifères du Nord-Est, région forestière boréale du Québec. Min. Nord Can. ressources nat., Dir. Forêts., Bull. 118. 93 p.
- Lussier, L.J.; Maranda, J. 1982. Perspectives d'utilisation de la biomasse forestière au Québec. Serv. Can. For., Centre Rech. for. Laurentides. Rapp. Inf. LAU-X-52. 55 p.
- Payandeh, B. 1981. Choosing regression models for biomass prediction equations. For. Chron. 57:229-232.
- Rowe, J.S. 1972. Forest regions of Canada. Can.For. Serv., Pub. 1300. 172 p.
- Schmitt, M.D.C; Grigal, D.F. 1981. Generalized biomass estimation equation for *Betula papyrifera* Marsh. Can. J. For. Res. 11:837-840.
- Stocks, B.J. 1980. Black spruce crown fuel weight in northern Ontario. Can. J. For. Res. 10:498-501.



ANNEXE 1

Masses vertes et anhydres de l'épinette noire  
et de ses principales composantes,  
en fonction du diamètre à hauteur de poitrine et  
de la hauteur totale





Annexe 1.1 Masse verte totale de l'épinette noire (kg)

D (cm)	H (m)											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
4	4,04	4,91	5,49	5,95								
6	9,66	11,72	13,13	14,22	15,14							
8		21,75	24,36	26,39	28,09	29,55	30,85					
10		35,14	39,34	42,63	45,37	47,74	49,83					
12			58,21	63,08	67,13	70,63	73,73	76,53				
14				87,85	93,49	98,37	102,69	106,58	110,14			
16					124,56	131,06	136,81	142,01	146,75	151,13		
18						168,80	176,22	182,90	189,01	194,65		
20						211,69	220,99	229,38	237,04	244,11	250,68	
22							271,22	281,51	290,91	299,59	307,66	
24							326,89	339,39	350,72	361,18	370,91	
26								403,08	416,55	428,97	440,52	451,35
28									488,45	503,02	516,57	529,26
30									566,51	583,40	599,12	613,84
32									650,78	670,19	688,25	705,15

D: diamètre à hauteur de poitrine; H: hauteur totale

N.B. Les tables de l'annexe 1 ne contiennent aucune extrapolation, c'est-à-dire qu'au moins un arbre a été échantillonné pour chaque couple diamètre-hauteur. La définition des classes de diamètre et de hauteur est donnée à l'annexe 2.

Annexe 1.2 Masse verte de la tige de l'épinette noire (kg)

D (cm)	H (m)											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
4	1,64	2,97	4,21	5,40								
6	3,43	6,22	8,81	11,28	13,67							
8		10,50	14,87	19,04	23,06	26,97	30,79					
10		15,75	22,31	28,57	34,60	40,47	46,20					
12			31,09	39,80	48,21	56,39	64,37	72,20				
14				52,68	63,82	74,64	85,21	95,56	105,74			
16					81,36	95,16	108,63	121,83	134,81	147,58		
18						117,89	134,58	150,94	167,02	182,84		
20						142,79	163,01	182,83	202,29	221,46	240,36	
22							193,87	217,43	240,59	263,38	285,85	
24							227,11	254,72	281,84	308,54	334,87	
26								294,64	326,01	356,90	387,35	417,42
28									373,06	408,40	443,25	477,65
30									422,94	463,01	502,51	541,52
32									475,62	520,68	565,11	608,97

D: diamètre à hauteur de poitrine; H: hauteur totale

Annexe 1.3 Masse verte de la cime de l'épinette noire (kg)

D (cm)	H (m)											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
4	4,26	1,98	1,26	0,92								
6	13,64	6,34	4,05	2,94	2,30							
8		14,48	9,24	6,72	5,25	4,29	3,62					
10		27,48	17,55	12,76	9,97	8,15	6,87					
12			29,62	21,55	16,83	13,76	11,60	10,01				
14				33,55	26,21	21,42	18,06	15,58	13,68			
16					38,46	31,43	26,50	22,86	20,07	17,86		
18						44,09	37,17	32,07	28,15	25,05		
20						59,67	50,31	43,40	38,10	33,90	30,51	
22							66,16	57,07	50,09	44,58	40,12	
24							84,94	73,27	64,32	57,24	51,51	
26								92,21	80,94	72,04	64,83	58,88
28									100,15	89,12	80,20	72,84
30									122,09	108,66	97,78	88,81
32									146,96	130,79	117,70	106,89

D: diamètre à hauteur de poitrine; H: hauteur totale

Annexe 1.4 Masse anhydre totale de l'épinette noire (kg)

D (cm)	H (m)															
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24				
4	1,99	2,65	3,14	3,54												
6	4,62	6,17	7,31	8,24	9,05											
8		11,23	13,31	15,00	16,47	17,77	18,95									
10		17,88	21,17	23,87	26,20	28,28	30,16									
12			30,95	34,90	38,30	41,33	44,08	46,61								
14				48,10	52,80	56,97	60,76	64,24	67,48							
16					69,72	75,23	80,23	84,83	89,11	93,11						
18						96,14	102,53	108,41	113,87	118,99						
20							119,73	127,68	135,00	141,80	148,18	154,19				
22								155,71	164,63	172,93	180,70	188,03				
24									186,63	197,33	207,27	216,59	225,38			
26										233,11	244,86	255,87	266,25	276,10		
28											285,71	298,56	310,67	322,16		
30												329,85	344,68	358,66	371,93	
32													377,29	394,25	410,25	425,42

D: diamètre à hauteur de poitrine; H: hauteur totale

Annexe 1.5 Masse anhydre de la tige de l'épinette noire (kg)

D (cm)	H (m)											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
4	0,81	1,61	2,42	3,23								
6	1,64	3,29	4,93	6,57	8,22							
8		5,44	8,16	10,88	13,61	16,33	19,05					
10		8,04	12,07	16,09	20,12	24,14	28,16					
12			16,61	22,15	27,69	33,23	38,77	44,31				
14				29,02	36,27	43,53	50,79	58,05	65,31			
16					45,84	55,01	64,18	73,35	82,53	91,70		
18						67,62	78,90	90,17	101,45	112,72		
20						81,33	94,89	108,46	122,02	135,58	149,14	
22							112,14	128,17	144,20	160,23	176,26	
24							130,62	149,28	167,95	186,62	205,29	
26								171,76	193,24	214,72	236,20	257,68
28									220,04	244,50	268,96	293,42
30									248,32	275,92	303,52	331,13
32									278,05	308,96	339,87	370,78

D: diamètre à hauteur de poitrine; H: hauteur totale

Annexe 1.6 Masse anhydre de la cime de l'épinette noire (kg)

D (cm)	H (m)											
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
4	2,22	1,05	0,68	0,50								
6	7,16	3,40	2,20	1,61	1,27							
8		7,80	5,04	3,74	2,91	2,39	2,03					
10		14,85	9,60	7,05	5,54	4,56	3,86					
12			16,26	11,93	9,39	7,72	6,54	5,66				
14				18,63	14,65	12,04	10,20	8,84	7,79			
16					21,55	17,71	15,01	13,00	11,45	10,23		
18						24,89	21,09	18,27	16,09	14,37		
20						33,74	28,59	24,76	21,82	19,48	17,58	
22							37,65	32,61	28,73	25,66	23,16	
24							48,40	41,93	36,94	32,99	29,77	
26								52,83	46,55	41,56	37,52	34,17
28									57,66	51,48	46,47	42,32
30									70,37	62,84	56,72	51,65
32									84,79	75,71	68,34	62,23

D: diamètre à hauteur de poitrine; H: hauteur totale

**ANNEXE 2**

**Procédure d'échantillonnage**





LIMITE DES CLASSES DE D ET H

<u>D (cm)</u>	<u>H (m)</u>
4: 3,1- 5,0	2: 1,01- 3,00
6: 5,1- 7,0	4: 3,01- 5,00
8: 7,1- 9,0	6: 5,01- 7,00
10: 9,1-11,0	8: 7,01- 9,00
12: 11,1-13,0	10: 9,01-11,00
14: 13,1-15,0	12: 11,01-13,00
16: 15,1-17,0	14: 13,01-15,00
18: 17,1-19,0	16: 15,01-17,00
20: 19,1-21,0	18: 17,01-19,00
22: 21,1-23,0	20: 19,01-21,00
24: 23,1-25,0	22: 21,01-23,00
26: 25,1-27,0	24: 23,01-25,00
28: 27,1-29,0	
30: 29,1-31,0	
32: 31,1-33,0	

CHOIX DES ARBRES-ÉCHANTILLONS

Dans chaque peuplement sélectionné, un point est choisi au hasard pour l'établissement de la placette-échantillon. Dans chaque placette de 0,04 ha, un inventaire de toutes les tiges dont le diamètre à hauteur de poitrine D est supérieur à 1,1 cm a été effectué. Un total de 20 arbres-échantillons de D supérieur à 9,1 cm et de 10 arbres-échantillons dont D est inférieur à 9,1 cm sont échantillonnés. Pour les arbres dont D est supérieur à 9,1 cm, le nombre de sujets sélectionnés par classe de diamètre est proportionnel au nombre d'arbres présents dans une classe donnée, multiplié par le diamètre de cette classe au carré. La formule utilisée s'écrit donc:

$$M_i = N_i \alpha_i^2$$

où N est le nombre total d'arbres dans la classe i et  $\alpha_i$  est le diamètre de la classe. Le nombre d'arbres à échantillonner dans chaque classe est désigné par le rapport:

$$\frac{M_i}{\sum M_i} \times 20$$

Pour les classes de D de 2, 4, 6 et 8 cm, 2 arbres sont sélectionnés pour chaque classe. Lorsque D est inférieur à 1.1 cm deux tiges sont échantillonnées, la première tige se situe dans la classe de hauteur de 51 à 100 cm et la deuxième dans la classe de hauteur de 101 à 150 cm.

#### PROCÉDURE D'ÉCHANTILLONNAGE DES ARBRES-ÉCHANTILLONS

##### A. Arbres dont D $\geq$ 9,1 cm

1. Abattre la tige le plus près possible du niveau du sol.
2. Mesurer: a) hauteur totale, au dm près;
  - b) hauteur marchande (9 cm au fin bout), au cm près;
  - c) hauteur à 1/3 et 2/3 de la hauteur marchande et marquer la position sur la tige;
  - d) hauteur du premier verticille de branches vivantes à partir du sol, au dm près.
3. Mesurer: a) diamètre à hauteur de poitrine avec écorce (a.e.), au mm près;
  - b) diamètre à 0.8 m du sol (a.e.), au mm près;
  - c) diamètre de la souche au point de coupe (a.e.), au mm près;
  - d) diamètre (a.e.) 5 cm sous le 1er verticille vivant, au mm près;
  - e) diamètre à 1/3 et 2/3 de la hauteur marchande, au mm près.
4. Séparer et sélectionner les parties suivantes:
  - a) couper toutes les branches en laissant la pousse terminale;

- b) subdiviser les branches en 3 empilements:
  - . branches vivantes dont le diamètre basal est supérieur à 3,0 cm,
  - . branches vivantes dont le diamètre basal est égal ou inférieur à 3,0 cm,
  - . branches mortes;
- c) sectionner la tige principale à 1/3 et 2/3 de la hauteur marchande et à la hauteur marchande.

5. Peser les masses vertes (a.e.) suivantes:

- a) branches dont le diamètre basal est supérieur à 3,0 cm, branches dont le diamètre basal est égal ou inférieur à 3,0 cm, branches mortes;
- b) les 3 sections de la tige marchande séparément;
- c) la partie non-marchande de la tige.

6. Prélever les échantillons suivants:

- a) 2 échantillons de branches dont le diamètre basal est supérieur à 3,0 cm;
- b) 2 échantillons de branches dont le diamètre basal est égal ou inférieur à 3,0 cm;
- c) 2 échantillons de branches mortes;
- d) 1 disque-échantillon de 3 cm d'épaisseur environ pris respectivement aux poitions suivantes:
  - souche,
  - hauteur de poitrine,
  - 1/3 marchand,
  - 2/3 marchand,
  - à la hauteur marchande (9,0 cm au fin bout).

Ces échantillons sont ensuite placés dans des sacs hermétiquement scellés. Les sacs et les échantillons sont identifiés.

7. Dans les 24 heures suivant la récolte des échantillons, peser tous les échantillons, au 0.1 g près. Pour les disques-échantillons, déterminer la masse verte des disques avec écorce et la masse verte des disques sans écorce. Les branches, les disques et les écorces sont conservés pour la détermination des masses anhydres.

B. Arbres dont  $1,1 \text{ cm} \leq D < 9,1 \text{ cm}$

1. Abattre la tige le plus près possible du niveau du sol.
2. Mesurer: a) hauteur totale, au cm près;  
b) diamètre au point de coupe (a.e.), au mm près;  
c) diamètre à hauteur de poitrine (a.e.), au mm près;  
d) diamètre à la demie hauteur totale, au mm près.
3. Séparer et sélectionner les parties suivantes:
  - a) couper toutes les branches en laissant la pousse terminale;
  - b) subdiviser les branches en 3 empilements:
    - . branches vivantes dont le diamètre basal est supérieur à 3,0 cm (si applicable),
    - . branches vivantes dont le diamètre basal est égal ou inférieur à 3,0 cm,
    - . branches mortes.
4. Peser les masses vertes (a.e.) suivantes:
  - a) branches vivantes dont le diamètre basal est supérieur à 3,0 cm (si applicable)
  - b) branches vivantes dont le diamètre basal est égal ou inférieur à 3,0 cm;
  - c) branches mortes;
  - d) masse verte de la tige principale.

5. Prélever les échantillons suivants:

- a) 2 branches prises au hasard dans chacun des 3 empilements (si applicable);
- b) 1 disque-échantillon, de 3 cm d'épaisseur environ, pris respectivement aux positions suivantes:
  - souche,
  - hauteur de poitrine,
  - $\frac{1}{2}$  de la hauteur totale;

Les échantillons sont ensuite placés dans des sacs hermétiquement scellés. Les sacs et les échantillons sont identifiés.

6. Dans les 24 heures suivant la récolte des échantillons, peser tous les échantillons, au 0,1 g près. Pour les disques-échantillons, déterminer la masse verte des disques avec écorce et la masse verte des disques sans écorce. Les branches, les disques et les écorces sont conservés pour la détermination des masses anhydres.

#### PROCÉDURE DE TRAITEMENT DES ÉCHANTILLONS EN LABORATOIRE

Les échantillons prélevés lors de cette étude ont été transportés au Centre de Recherches Forestières des Laurentides toutes les deux semaines et immédiatement congelés, jusqu'au moment du séchage, afin d'éviter toute détérioration des échantillons en attendant le moment du séchage. Tous les échantillons ont été séchés au four à 105°C, pendant un minimum de 24 heures ou jusqu'à ce que la masse demeure constante.

Après séchage, les échantillons sont refroidis jusqu'à atteindre la température ambiante, et ensuite pesés au 0,1 g près. L'âge de chaque arbre-échantillon a été déterminé à partir du disque prélevé à la souche. Tous les disques récoltés durant cette étude sont conservés pour des travaux ultérieurs reliés ou non à l'étude de la biomasse forestière.

