

$$P'(t) = \frac{r}{k} P(t)(b - P(t))$$
$$V_{AE,ik} = \beta_1 d h p_{ik}^{\beta_2} H_{ik}^{\beta_3} + \varepsilon_{2,ik}$$



# Tarif de cubage pour les peupliers hybrides au Québec

par Jean Ménétrier et Isabelle Auger

MÉMOIRE DE RECHERCHE FORESTIÈRE N° 170

DIRECTION DE LA RECHERCHE FORESTIÈRE



# Tarif de cubage pour les peupliers hybrides au Québec

Jean Ménétrier, L. ès Sc., ing. agro.  
et Isabelle Auger, stat. ASSQ, M. Sc.

MÉMOIRE DE RECHERCHE FORESTIÈRE N° 170

DIRECTION DE LA RECHERCHE FORESTIÈRE

## Mandat de la DRF

La Direction de la recherche forestière a pour mandat de participer activement à l'orientation de la recherche et à l'amélioration de la pratique forestière au Québec, dans un contexte d'aménagement forestier durable, en réalisant des travaux de recherche scientifique appliquée. Elle acquiert de nouvelles connaissances, du savoir-faire et du matériel biologique et contribue à leur diffusion ou leur intégration au domaine de la pratique. Elle subventionne aussi des recherches en milieu universitaire, le plus souvent dans des créneaux complémentaires à ses propres travaux.

## Les mémoires de recherche forestière de la DRF

Depuis 1970, chacun des Mémoires de recherche forestière de la DRF est révisé par au moins trois pairs indépendants. Cette publication est produite et diffusée à même les budgets de recherche et de développement, comme autant d'étapes essentielles à la réalisation d'un projet ou d'une expérience. Ce document à tirage limité est également disponible dans notre site Internet en format pdf.

Vous pouvez adresser vos demandes à :

Ministère des Ressources naturelles  
Direction de la recherche forestière  
2700, rue Einstein, Québec (Québec)  
Canada, G1P 3W8  
Courriel : [recherche.forestiery@mrn.gouv.qc.ca](mailto:recherche.forestiery@mrn.gouv.qc.ca)  
Internet : [www.mrn.gouv.qc.ca/forets/  
connaissances/recherche](http://www.mrn.gouv.qc.ca/forets/connaissances/recherche)

© Gouvernement du Québec  
On peut citer ce texte en indiquant la référence.

Toutes les publications produites par la Direction de la recherche forestière, du ministère des Ressources naturelles, sont protégées par les dispositions de la Loi sur le droit d'auteur, les lois, les politiques et les règlements du Canada, ainsi que par des accords internationaux. Il est interdit de reproduire, même partiellement, ces publications sans l'obtention préalable d'une permission écrite.

ISSN : 1183-3912  
ISBN : 978-2-550-67877-9  
ISBN (PDF) : 978-2-550-67878-6  
F.D.C. 238  
L.C. SD 557

## Notes biographiques



Jean Ménétrier est ingénieur agronome, diplômé de l'École nationale supérieure agronomique de Nancy (France) et détenteur d'une licence ès sciences décernée par l'Université de Besançon (France). Il a travaillé au Service de la Recherche à titre de coopérant technique dès 1970, puis comme ingénieur de la SICORES

(Société internationale de coopération pour réalisations économiques et sociales), dans le cadre du Programme franco-québécois d'introduction et de développement de la populiculture au Québec. Depuis 1977, il est à l'emploi de la Direction de la recherche forestière à titre de chercheur. Ses travaux portent sur la populiculture, la culture intensive des résineux et les modalités du reboisement.



Isabelle Auger est statisticienne, diplômée de l'Université Laval depuis 1995. En 1997, le même établissement lui décerne un diplôme de maîtrise ès sciences. Depuis 1999, elle est à l'emploi de la Direction de la recherche forestière au sein de l'équipe de biométrie. Ses principaux champs d'expertise sont la modéli-

sation de la croissance forestière et du rendement des forêts, la planification d'expériences et l'analyse de variance, les modèles mixtes et les modèles linéaires généralisés.

# Remerciements

Nous tenons à exprimer notre reconnaissance et nos remerciements à toutes les personnes dont la contribution aura permis la publication de ce document. Mentionnons en particulier le travail essentiel du personnel technique responsable du mesurage des arbres dans les différentes parcelles échantillonnées, aussi bien en automne qu'en hiver. Merci, donc, à MM. Hervé Gagnon, Serge Morin, Lucien Pinet, Conrad Thomassin, Guy Chantal et Hervé Lortie. Nous devons beaucoup à Mme Nicole Laquerre qui a fait le calcul des volumes individuels avec l'application DEBUTRONC développée par M. Gilles Désaulniers, notre collaborateur de la première heure. Nos remerciements vont également à Mme Marie-Claude Lambert pour les données climatiques, à M. Patrice Tardif pour l'estimation des épaisseurs manquantes d'écorce et à M. Guy Prigent pour ses données et ses conseils.

Merci à Mmes Sylvie Bourassa et Maripierre Jalbert pour la mise en page du document, et à Mmes Denise Tousignant et Josianne DeBlois responsables de son édition. Notre appréciation va aussi à tous les réviseurs anonymes pour leurs commentaires. Nous devons souligner la collaboration de MM. Sadi Aid et Marc Du Sablon, de la Direction générale adjointe des technologies de l'information, pour l'intégration des résultats de cette étude dans l'application informatique POPIJCUB. Enfin, nous adressons une pensée aux pionniers de la populiculture québécoise avec lesquels nous avons installé les plantations échantillonnées pour produire ce tarif de cubage. Ce travail a été financé dans le cadre du projet numéro 112310027 de la Direction de la recherche forestière.



## Résumé

La connaissance de la productivité d'une plantation est du plus grand intérêt pour tout sylviculteur. Ce tarif de cubage des peupliers hybrides au Québec a été construit à partir d'un échantillonnage de 54 clones et 853 arbres âgés de 13 à 26 ans, sur 3 sites de plantations du sud, du centre et du nord-est du Québec. Il est valable pour des arbres de 2 à 30 m de hauteur et de 1 à 60 cm de diamètre à hauteur de poitrine. Il donne le volume total et le volume marchand d'une tige, avec ou sans écorce, ainsi que les volumes de billes découpées à des hauteurs ou des diamètres au fin bout variables. Il permet aussi d'évaluer les possibilités de découpe en billons de

4, 8, 12 et 16 pieds et d'en connaître les volumes correspondants. Ceci conduit donc à des choix d'exploitation plus rentables prenant en compte les possibilités de tronçonnage des billes en produits mieux adaptés au marché. L'application informatique POPIJCUB permet de faire ces calculs et d'estimer la productivité d'une parcelle de peupliers hybrides. Elle est disponible par téléchargement à l'adresse web [www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Menetrier-Jean/POPIJCUB1-0.xls](http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Menetrier-Jean/POPIJCUB1-0.xls), ou en format cédérom à ceux qui en feront la demande à [recherche.forestiere@mrn.gouv.qc.ca](mailto:recherche.forestiere@mrn.gouv.qc.ca).

Mots-clés : plantation, peupliers hybrides, tarif de cubage, diamètre, hauteur, modèles, volume marchand, volume total, écorce, découpe, tronçonnage, productivité

## Abstract

*Knowledge of poplar plantation productivity is a major interest for poplar crop managers. This volume table for hybrid poplars was derived from a sample of 54 clones and 853 trees aged from 13 to 26 years, on three plantation sites of southern, central and northeastern Québec. It provides total volume, merchantable volume with or without bark, as well as volume of logs sawn at various heights or top diameters, for trees ranging from 2 to 30 m in height and from 1 to 60 cm in diameter at breast*

*height. To align choices with market opportunities and profitable returns, the volumes of logs cut to lengths of 4, 8, 12, and 16 feet can also be evaluated. The accompanying software POIJCUB facilitates these calculations and predicts the global productivity of a hybrid poplar plot (available for download at: [www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Menetrier-Jean/POIJCUB1-0.xls](http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Menetrier-Jean/POIJCUB1-0.xls), or in CD-ROM format by request at: [recherche.forestiere@mrn.gouv.qc.ca](mailto:recherche.forestiere@mrn.gouv.qc.ca)).*

*Keywords: Plantation, hybrid poplars, volume table, diameter, height, growth models, merchantable volume, total volume, bark, slashing, productivity*

# Table des matières

<b>Résumé</b> .....	v
<b>Abstract</b> .....	vi
<b>Liste des tableaux</b> .....	ix
<b>Liste des figures</b> .....	xi
<b>Liste des annexes</b> .....	xiii
<b>Introduction</b> .....	1
<b>Chapitre premier – Matériel et méthodes</b> .....	3
1.1 Caractéristiques des plantations de peupliers échantillonnées .....	3
1.1.1 Situation géographique et environnement culturel .....	3
1.1.2 Caractéristiques des arbres échantillonnés .....	4
1.2 Mesures et cubage des arbres .....	5
1.2.1 Données récoltées .....	5
1.2.2 Cubage des tiges .....	6
1.3 Tarif de cubage .....	6
1.3.1 Volume total .....	6
1.3.2 Volume à diamètre et hauteur d'utilisation variables .....	8
1.3.3 Nombre et volume de billons de différentes longueurs .....	9
1.4 Validation des modèles .....	10
<b>Chapitre 2 – Résultats</b> .....	11
2.1 Tarif de cubage .....	11
2.1.1 Volume total .....	11
2.1.2 Volume à diamètre et hauteur d'utilisation variables .....	14
2.1.3 Nombre et volumes de billons de différentes longueurs .....	15
<b>Chapitre 3 – Discussion</b> .....	19
3.1 Comparaisons .....	19
3.2 Utilisation .....	20
<b>Chapitre 4 – Application informatique POPIJCUB</b> .....	21
<b>Conclusion</b> .....	23
<b>Références bibliographiques</b> .....	25
<b>Annexes</b> .....	27



# Liste des tableaux

<b>Tableau 1.</b> Caractéristiques climatiques moyennes des sites d'échantillonnage .....	4
<b>Tableau 2.</b> Caractéristiques générales et dendrométriques de l'échantillonnage (moyennes par site et valeurs minimales et maximales entre parenthèses) .....	5
<b>Tableau 3.</b> Répartition du nombre d'arbres par classes de hauteur et de diamètre à hauteur de poitrine ( <i>dhp</i> ) .....	6
<b>Tableau 4.</b> Équations testées pour l'estimation du volume total ( <i>V</i> ) de peupliers hybrides en fonction du diamètre à hauteur de poitrine ( <i>dhp</i> ) et de la hauteur totale ( <i>H</i> ) .....	7
<b>Tableau 5.</b> Valeurs estimées des paramètres (erreurs-types entre parenthèses), erreur résiduelle estimée $\hat{\sigma}$ [ $\ln(\text{dm}^3)$ ], coefficients de détermination ( $R^2$ ), biais et erreur (valeurs relatives entre parenthèses) de l'équation 1 utilisée pour prédire les volumes totaux de peupliers hybrides sans et avec écorce .....	11
<b>Tableau 6.</b> Biais (valeurs relatives entre parenthèses) sur l'estimation du volume total moyen de peupliers hybrides sans et avec écorce, en fonction du site ( <i>n</i> : nombre d'observations) .....	11
<b>Tableau 7.</b> Valeurs estimées des paramètres des équations 3 et 4 de prévision de la proportion des volumes de peupliers hybrides avec et sans écorce, pour un diamètre et une hauteur variables (erreurs-types entre parenthèses), paramètre d'autocorrélation ( $\hat{\rho}$ ), erreur résiduelle ( $\hat{\sigma}$ ), coefficient de détermination ( $R^2$ ), biais et erreur .....	14



## Liste des figures

<b>Figure 1.</b>	Situation géographique des plantations échantillonnées .....	3
<b>Figure 2.</b>	Schéma d'une tige et désignation des variables associées au tarif de cubage .....	5
<b>Figure 3.</b>	Relations entre la proportion du volume total et la hauteur relative ( $h/H$ ), et entre la proportion du volume total et le diamètre relatif ( $d/dhp$ ) .....	8
<b>Figure 4.</b>	Biais relatif sur l'estimation du volume total sans et avec écorce du peuplier hybride en fonction (a) des classes de dhp et (b) des classes de hauteur .....	12
<b>Figure 5.</b>	Estimation du volume total sans écorce d'une tige de peuplier hybride en fonction du dhp, pour différentes hauteurs totales .....	13
<b>Figure 6.</b>	Estimation des variations du volume d'écorce du peuplier hybride en fonction du dhp et de la hauteur totale ( $V_{AE}$ : volume total avec écorce; $V_{SE}$ : volume total sans écorce) .....	13
<b>Figure 7.</b>	Estimation du volume marchand (découpe à 9 cm au fin bout) sans écorce d'une tige de peuplier hybride en fonction du dhp, pour différentes hauteurs totales .....	15
<b>Figure 8.</b>	Répartition du volume total sans écorce du peuplier hybride selon le diamètre minimal d'utilisation, en fonction du dhp, pour des hauteurs totales de 10, 12, 14, 16 et 18 m .....	16
<b>Figure 9.</b>	Répartition du volume total sans écorce du peuplier hybride selon la longueur de bille, en fonction du dhp, pour des hauteurs totales de 10, 12, 14, 16 et 18 m .....	16
<b>Figure 10.</b>	Biais relatif sur l'estimation du volume de bille de peuplier hybride sans et avec écorce en fonction (a) de la classe de rapport $d/dhp$ ou (b) de la classe de rapport $h/H$ .....	17
<b>Figure 11.</b>	Comparaison de l'estimation du volume total de tiges de peuplier hybride avec écorce en fonction du dhp, pour différentes hauteurs totales, entre cette étude et les tarifs de cubage de BOYSEN et STROBL (1991) et de POPOVICH (1986) .....	19
<b>Figure 12.</b>	Page d'accueil du logiciel, permettant de choisir un outil de cubage .....	69
<b>Figure 13.</b>	Écran cubage de tige .....	69
<b>Figure 14.</b>	Écran cubage de bille .....	70
<b>Figure 15.</b>	Écran tronçonnage de tige .....	70
<b>Figure 16.</b>	Écran cubage de parcelle .....	71
<b>Figure 17.</b>	Écran tronçonnage de parcelle .....	71



# Liste des annexes

<b>Annexe A.</b>	Répartition globale par espèces ou types d'hybrides des clones de peupliers échantillonnés ..	27
<b>Annexe B.</b>	Liste des clones, types d'hybrides et nombre d'arbres échantillonnés par site de plantation ...	28
<b>Annexe C.</b>	Abaque de prédiction du volume total sans écorce (dm <sup>3</sup> ) du peuplier hybride en fonction du dhp et de la hauteur totale .....	30
<b>Annexe D.</b>	Abaque de prédiction du volume total avec écorce (dm <sup>3</sup> ) du peuplier hybride en fonction du dhp et de la hauteur totale .....	32
<b>Annexe E.</b>	Abaque de prédiction de la proportion du volume total sans écorce du peuplier hybride en fonction du dhp et du diamètre minimal d'utilisation au fin bout .....	34
<b>Annexe F.</b>	Abaque de prédiction de la proportion du volume total avec écorce du peuplier hybride en fonction du dhp et du diamètre minimal d'utilisation au fin bout .....	36
<b>Annexe G.</b>	Abaque de prédiction du volume marchand sans écorce (dm <sup>3</sup> ) du peuplier hybride en fonction du dhp et de la hauteur totale .....	38
<b>Annexe H.</b>	Abaque de prédiction du volume marchand avec écorce (dm <sup>3</sup> ) du peuplier hybride en fonction du dhp et de la hauteur totale .....	40
<b>Annexe I.</b>	Abaque de prédiction de la proportion du volume total sans écorce du peuplier hybride en fonction de la hauteur totale et de la longueur de bille .....	42
<b>Annexe J.</b>	Abaque de prédiction de la proportion du volume total avec écorce du peuplier hybride en fonction de la hauteur totale et de la longueur de bille .....	43
<b>Annexe K.</b>	Nombre de billons de peuplier hybride de 4, 8, 12 ou 16 pieds avec au moins 9 cm de diamètre au fin bout en fonction du dhp et de la hauteur totale, dans une tige ayant au moins 9 cm de diamètre à 8 pieds de hauteur, en ajoutant 4 pouces à chaque billon .....	44
<b>Annexe L.</b>	Volume sans écorce (dm <sup>3</sup> , dans l'ordre des cellules) du 1 <sup>er</sup> , 2 <sup>e</sup> , 3 <sup>e</sup> , 4 <sup>e</sup> et 5 <sup>e</sup> billon de 8 pieds de peuplier hybride, et volume résiduel jusqu'à un diamètre au fin bout de 9 cm, en fonction du dhp et de la hauteur totale .....	46
<b>Annexe M.</b>	Volume sans écorce (dm <sup>3</sup> , dans l'ordre des cellules) du 1 <sup>er</sup> , 2 <sup>e</sup> , 3 <sup>e</sup> , 4 <sup>e</sup> et 5 <sup>e</sup> billon de 12 pieds de peuplier hybride, et volume résiduel jusqu'à un diamètre au fin bout de 9 cm, en fonction du dhp et de la hauteur totale .....	50
<b>Annexe N.</b>	Volume sans écorce (dm <sup>3</sup> , dans l'ordre des cellules) du 1 <sup>er</sup> , 2 <sup>e</sup> , 3 <sup>e</sup> et 4 <sup>e</sup> billon de 16 pieds de peuplier hybride, et volume résiduel jusqu'à un diamètre au fin bout de 9 cm, en fonction du dhp et de la hauteur totale .....	54
<b>Annexe O.</b>	Volume avec écorce (dm <sup>3</sup> , dans l'ordre des cellules) du 1 <sup>er</sup> , 2 <sup>e</sup> , 3 <sup>e</sup> , 4 <sup>e</sup> et 5 <sup>e</sup> billon de 8 pieds de peuplier hybride, et volume résiduel jusqu'à un diamètre au fin bout de 9 cm, en fonction du dhp et de la hauteur totale .....	58
<b>Annexe P.</b>	Volume avec écorce (dm <sup>3</sup> , dans l'ordre des cellules) du 1 <sup>er</sup> , 2 <sup>e</sup> , 3 <sup>e</sup> , 4 <sup>e</sup> et 5 <sup>e</sup> billon de 12 pieds de peuplier hybride, et volume résiduel jusqu'à un diamètre au fin bout de 9 cm, en fonction du dhp et de la hauteur totale .....	62
<b>Annexe Q.</b>	Volume avec écorce (dm <sup>3</sup> , dans l'ordre des cellules) du 1 <sup>er</sup> , 2 <sup>e</sup> , 3 <sup>e</sup> et 4 <sup>e</sup> billon de 16 pieds de peuplier hybride, et volume résiduel jusqu'à un diamètre au fin bout de 9 cm, en fonction du dhp et de la hauteur totale .....	66
<b>Annexe R.</b>	Images des principaux écrans du logiciel POPIJCUB .....	69



# Introduction

La culture des peupliers hybrides au Québec est relativement récente. C'est dans le contexte socio-économique nouveau du début des années 70 que cette populiculture a été mise de l'avant. En effet, des développements industriels et des pénuries appréhendées de peuplier faux-tremble ont incité les forestiers à considérer de nouvelles approches sylvicoles et l'utilisation d'espèces indigènes ou exotiques plus productives dans les politiques de reboisement.

Dans ces années, le Service de la recherche forestière du ministère des Terres et Forêts d'alors a entrepris un vaste programme d'amélioration génétique des espèces de peupliers (*Populus sp. L.*) (VALLÉE 1969a, COMITÉ DE RECHERCHE EN GÉNÉTIQUE FORESTIÈRE 1971). La notion de culture de l'arbre évoquée dans une vision nouvelle du rôle des plantations (VALLÉE 1969b) a vu sa première application avec le programme franco-québécois de Recherche et développement sur le peuplier dans la région de l'Est-du-Québec (GROUPE DE CHERCHEURS SUR LE PEUPLIER 1972, MÉNÉTRIER 2008). Avec le temps, de nouvelles façons culturales et de nouveaux systèmes de production (MÉNÉTRIER 1992) ont évolué vers des pratiques de ligniculture. L'utilisation d'espèces à croissance rapide a permis d'augmenter très significativement notre production de biomasse ligneuse (MÉNÉTRIER et VALLÉE 1992). Ces espèces nécessitent des techniques de culture beaucoup plus intensives pour exprimer leur potentiel de production de matière ligneuse. Avec les peupliers, cette productivité dépend de conditions assez spécifiques (MÉNÉTRIER *et al.* 2005), englobant à la fois l'effet des conditions climatiques, de la fertilité du site, de l'intensité des soins culturaux, de l'âge d'exploitation et, surtout, de la variété ou du clone cultivé. En conditions normales moyennes, l'accroissement annuel moyen atteint  $11,6 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$  sur une rotation de 20 à 30 ans (MÉNÉTRIER 2008). Dans une plantation du Bas-Saint-Laurent, une production de  $234 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  à 15 ans a déjà été obtenue, soit  $15,6 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ . Dans les meilleurs cas, sur de très bons sites, on entrevoit la possibilité de dépasser  $18$  à  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$  sur des rotations d'environ 20 à 25 ans (PÉRINET 1999). En plus de cette productivité élevée et à court terme, l'intérêt des peupliers réside dans le fait qu'ils sont utilisables pour la production de pâtes, de panneaux, de sciages, de déroulages, de biomasse, dans divers types d'aménagements agroforestiers et en réhabilitation environnementale.

Le choix des clones de peupliers hybrides utilisés pour les plantations au Québec dépend directement du programme d'amélioration génétique et il est, de ce fait, en constante évolution. Depuis le début du programme, les plantations sont réalisées avec des clones du genre *Populus* principalement issus de croisements entre différentes espèces de peupliers indigènes ou exotiques des sections botaniques *Aigeiros* (peupliers noirs et deltoïdes) et *Tacamahaca* (peupliers baumiers américains et asiatiques). Quelquefois, le choix est fait au niveau de l'espèce. Ainsi, plusieurs clones sont issus de sélections locales de peupliers deltoïdes (*Populus deltoïdes* Bartr. ex Marsh.) et de peupliers baumiers (*Populus balsamifera* L.).

À chaque nouvelle génération de croisements dirigés, de nouveaux clones plus performants, mieux adaptés aux conditions de station, toujours moins sensibles aux insectes et maladies ou autres dégâts, s'ajoutent à la liste de distribution. Depuis quelques années déjà, les qualités mécaniques du bois sont ajoutées aux critères classiques de sélection (performance, rusticité, tolérance aux agents pathogènes, architecture). Ces nouvelles sélections de clones sont utilisées pour les plantations réalisées en forêt publique et privée.

Dans toute plantation, il est important de faire un suivi de la croissance en estimant le volume sur pied. Ceci permet de déterminer soit le moment opportun d'une intervention sylvicole devant maintenir ou améliorer cette croissance, soit le moment de la coupe finale. L'évaluation du volume des arbres, qui est d'un intérêt commercial évident, permet aussi de juger les qualités et la spécificité d'un site de production et d'ajuster les techniques culturales à y appliquer pour en améliorer la gestion et la productivité. Un tarif de cubage permet d'estimer le volume d'un arbre sur pied ou abattu pour répondre à ces besoins. Il sert aussi de base à l'élaboration des tables de production.

Un tarif de cubage est construit à partir d'un échantillonnage représentatif d'arbres de dimensions différentes, dont on calcule le volume à partir d'une relation statistique entre la hauteur et le diamètre mesurés sur l'arbre à différents niveaux. L'investissement requis pour prendre ces mesures de hauteurs et de diamètres sur des arbres debout ou abattus étant assez important, il existe plusieurs variantes de ces tarifs selon les données de terrain

disponibles. Les deux variables de base prises en compte dans l'élaboration de tout tarif de cubage sont la hauteur et le diamètre des arbres mesurés. Ils sont principalement déterminés par les caractéristiques des plantations (âge, clones, intensité de culture) et la spécificité des conditions de croissance des sites échantillonnés. D'autres variables peuvent être ajoutées, comme des critères de découpe des arbres en billes ou billons de longueurs ou de diamètres au fin bout variables.

Les tarifs de cubage sont généralement présentés sous forme de tableaux et d'équations (RONDEUX 1973). Les tarifs à une entrée, qui indiquent le volume des arbres seulement à partir du diamètre à hauteur de poitrine (dhp), sont moins précis et, de ce fait, moins utilisés. Les tarifs à deux entrées utilisent généralement le dhp et la hauteur totale (pour le calcul du volume total) ou la hauteur de la découpe au fin bout (pour le calcul du volume marchand). L'âge de la plantation ou la hauteur de la bille de pied destinée au sciage ou au déroulage sont d'autres paramètres qui s'ajoutent dans les tarifs à trois entrées ou plus.

Il n'y a pas de tarifs de cubage spécifiques aux clones de peupliers hybrides plantés actuellement au Québec. L'extrapolation des tarifs européens pour nos plantations n'est pas vraiment envisageable, à cause des conditions de croissance et de culture très différentes, notamment des densités de plantation beaucoup plus faibles en Europe (150 à 300 tiges à l'hectare), qui produisent des arbres

beaucoup plus hauts à diamètres équivalents (BONDUELLE 1974, RODA 1999). Les mêmes limites s'appliquent aussi avec les tarifs de masse et de volume développés pour des taillis à courte rotation (BOUVET et BERTHELOT 1994). Les seuls tarifs actuellement disponibles sont ceux publiés dans le *Grower guide to hybrid poplar* du Ministère des ressources naturelles de l'Ontario (BOYSEN et STROBL 1991), les premières tables de coefficients de forme et de tarifs de cubage au Québec de POPOVICH (1986), ainsi qu'un tarif préliminaire de MÉNÉTRIER (non publié, 1994) à usage interne et limité à une hauteur maximale de 20 m et un dhp de 40 cm.

Pour élargir la plage de validité d'un tarif de cubage et son application dans des conditions générales plutôt que très spécifiques, il faut évidemment disposer du plus grand nombre possible d'arbres dans une gamme étendue de hauteurs et de diamètres, tout en s'assurant de couvrir le maximum de hauteurs possibles pour un diamètre donné. Une bonne représentativité clonale et géographique et des plantations assez âgées pour intégrer des arbres de plus grandes dimensions sont nécessaires. Évidemment, ces exigences sont toujours limitées par ce qui est disponible sur le terrain.

Aux données utilisées pour construire un premier tarif en 1994, nous avons ajouté des données récoltées sur des arbres plus âgés et de nouveaux clones pour produire un tarif général applicable jusqu'à 30 m de hauteur et 60 cm de dhp.

# Chapitre premier

## Matériel et méthodes

### 1.1 Caractéristiques des plantations de peupliers échantillonnées

#### 1.1.1 Situation géographique et environnement cultural

Ce tarif est construit à partir d'un échantillon total de 853 arbres mesurés debout ou récoltés lors de coupes d'éclaircie. Cinq séries d'échantillons ont été choisies dans des plantations expérimentales âgées de 20 à 26 ans, à Saint-Ours et Estcourt, et de 13 à 15 ans, au populetum de Matane. L'ensemble couvre trois zones écologiques différentes et un territoire assez représentatif des conditions environnementales et climatiques qui prévalent entre le sud et le nord-est du Québec (Figure 1), aux latitudes des régions concernées par la populiculture.

Le populetum de Matane dans l'Est-du-Québec, situé dans le sous-domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc de l'est (SAUCIER *et al.* 1998), est soumis à des conditions climatiques plus rigoureuses que celles du sud du Québec à la station de Saint-Ours, située dans le sous-domaine de l'érablière à caryer cordiforme (Figure 1). La station

d'Estcourt bénéficie de conditions intermédiaires, tant du point de vue climatique (sous-domaine de la sapinière à bouleau jaune de l'est) que du point de vue édaphique. Les caractéristiques climatiques de ces trois sites (ROBITAILLE et SAUCIER 1998) sont présentées au tableau 1.

À Matane, les plantations ont été installées à partir de boutures mises en terre avec un espacement initial de 3 m x 3 m, soit une densité de 1111 tiges à l'hectare. Le terrain avait été préparé après coupe par défrichage et mise en andains. Les entretiens nécessaires (désherbage) ainsi qu'une fertilisation de base en azote (N), phosphore (P) et potassium (K) ont été réalisés en bas âge afin d'améliorer la fertilité moyenne du site implanté sur des dépôts fluvioglaciers assez grossiers de terrasses alluviales, avec un sol très mince.

Sur le site des fermes populicoles d'Estcourt, les arbres sont issus de boutures plantées à une densité moyenne de 1100 tiges à l'hectare, après une coupe commerciale et une préparation du site par essouchage, mise en andains et hersage lourd.

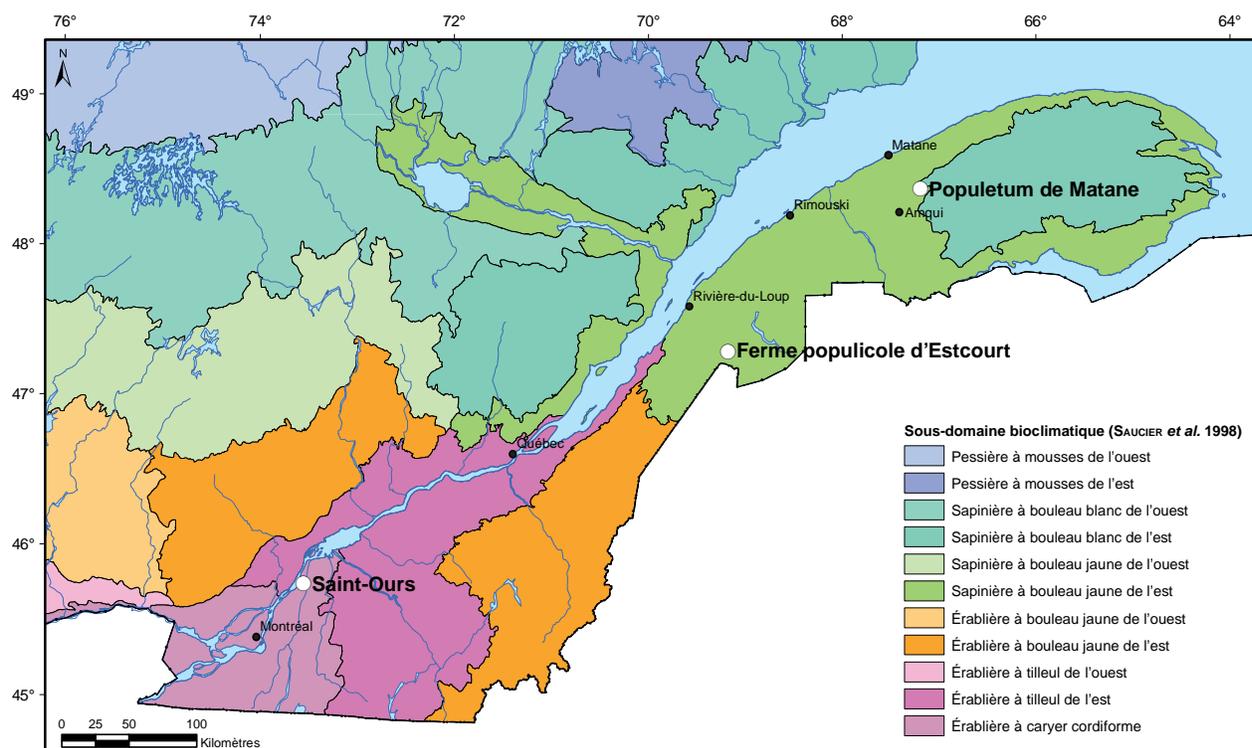


Figure 1. Situation géographique des plantations échantillonnées.

Tableau 1. Caractéristiques climatiques moyennes\* des sites d'échantillonnage

Caractéristiques	Saint-Ours	Estcourt	Matane
Domaine bioclimatique	Érabièrre à caryer cordiforme	Sapinière à bouleau jaune	Sapinière à bouleau blanc
Altitude (m)	15	336	92
Température moyenne annuelle (°C)	5,5	2,8	2,4
Température moyenne en saison de végétation (°C)	15,4	13,9	13,8
Degrés-jours de croissance (T > 5 °C) <sup>†</sup>	2009	1473	1391
Durée de la saison de végétation (jours) <sup>‡</sup>	185	156	148
Précipitations annuelles moyennes (mm)	1045	1140	1222
Fraction nivale (%)	30	36	40
Précipitations utiles (mm) (1er juin - 31 août)	297	315	319
Indice d'aridité <sup>§</sup>	175 - 250	125	50 - 100
Nombre annuel de jours sans gel	206	174	168
Nombre annuel de jours consécutifs sans gel	144	105	94
Date du dernier gel printanier	5 mai	31 mai	5 juin
Date du premier gel automnal	25 septembre	13 septembre	7 septembre

\* Certaines données sont tirées de BioSIM 9.5.2 (RÉGNIERE et ST-AMAND, 2008) et basées sur les normales climatiques de la période 1971-2000.

<sup>†</sup> Un degré-jour de croissance est compté pour chaque degré de température quotidienne se trouvant au-dessus de la température de référence qui est de 5,6 °C.

<sup>‡</sup> Nombre de jours entre 3 journées consécutives avec température minimale supérieure à 0 °C et 3 journées consécutives avec température minimale inférieure à 0 °C).

<sup>§</sup> 100 x nombre annuel moyen de mois avec déficit hydrique dans les sols.

Là aussi, des entretiens et une fertilisation de base en N, P et K ont été nécessaires sur ces sols dérivés de tills neutres ou calcaires.

Le site plus méridional de Saint-Ours est situé sur une friche agricole au sol assez profond, plus fertile, de texture argilo-limoneuse et préparé par labour puis hersage. La plantation Saint-Ours 1 (55 arbres) a été entretenue au rotoculteur les trois premières années après la mise en terre de boutures. À 5 ans, l'espacement initial de 1,2 m x 3 m (test clonal) a été ramené à 2,4 m x 3 m par éclaircie, ce qui correspond à une densité proche de 1 400 tiges à l'hectare. Il n'y a pas eu de fertilisation. L'échantillon Saint-Ours 2 comprend 20 arbres issus de plançons mis en terre à un espacement de 6 m x 7 m (238 tiges à l'hectare) dans une plantation résineuse en perdition.

### 1.1.2 Caractéristiques des arbres échantillonnés

La construction de ce tarif est établie avec 54 clones (individus purs des sections *Aigeiros* et *Tacamahaca* et hybrides euraméricains, interaméricains et multiples issus de familles de croisements) Parmi ces clones, certains ne sont actuellement plus recommandés, car ils se sont avérés plus

sensibles à certains pathogènes ou moins performants que les clones de sélections plus récentes. Toutefois, ces clones sont encore présents dans les plantations les plus âgées, où se trouvent les arbres de plus grandes dimensions. Cet échantillonnage d'arbres plus âgés permet l'extension du tarif pour des hauteurs et des dhp plus grands. Avec les hybrides de dernière génération utilisés pour les plantations actuelles, ces dimensions sont atteintes plus rapidement. Il faut noter que l'âge des arbres correspond au nombre total de saisons de végétation, calculé à partir de l'année de la mise en terre des boutures.

Les sites de Matane et de Saint-Ours ont été échantillonnés en deux temps dans des dispositifs expérimentaux et sur des arbres différents, afin d'avoir une meilleure représentativité de certaines classes de hauteur ou de dhp (Matane) et d'ajouter des arbres de plus grandes dimensions (Saint-Ours). Le tableau 2 montre les caractéristiques générales et dendrométriques de l'échantillonnage pour chaque site. La hauteur des arbres varie de 2 à 30 m et le dhp, de 1 à 59 cm. Le tableau 3 montre la répartition des arbres par classes de hauteur et de dhp. La répartition globale des clones dans les principales

Tableau 2. Caractéristiques générales et dendrométriques de l'échantillonnage (moyennes par site et valeurs minimales et maximales entre parenthèses)

Caractéristiques	Saint-Ours 1	Saint-Ours 2	Estcourt	Matane
Nombre de clones*	33	5	2	24
Nombre d'arbres	55	20	15	763
Âge (années)	15 (15 - 15)	20 (20 - 20)	26 (26 - 26)	13 (9 - 25)
Dhp (cm)	27,6 (18,0 - 40,6)	44,9 (28,4 - 59,1)	40,0 (27,9 - 50,4)	13,2 (1,0 - 34,0)
Hauteur totale (m)	20,5 (15,3 - 25,1)	26,5 (23,2 - 29,5)	24,4 (22,9 - 26,0)	9,9 (2,1 - 22,6)
Hauteur totale/dhp (m·cm <sup>-1</sup> )	0,77 (0,53 - 0,99)	0,60 (0,49 - 0,82)	0,62 (0,49 - 0,82)	0,84 (0,49 - 2,38)
Volume avec écorce (dm <sup>3</sup> )	495,9 (138,0 - 1102,6)	1552,6 (541,7 - 2844,6)	1080,5 (495,3 - 1623,4)	78,7 (0,3 - 725,4)
Volume sans écorce (dm <sup>3</sup> )	422,3 (108,7 - 922,4)	1296,4 (426,4 - 2486,9)	848,9 (330,5 - 1309,0)	67,1 (0,2 - 646,9)

\* Certains clones sont présents sur deux sites. Sans les doublons, l'échantillonnage porte sur 54 clones différents.

sections botaniques et les grands types d'hybrides sont présentés à l'annexe A. La liste des clones, leur type et le nombre d'arbres échantillonnés par site de plantation sont détaillés à l'annexe B. La taille du premier échantillon de Matane peut y paraître importante, mais il faut noter qu'il ne représente que 8 des 54 clones de l'échantillon total, et qu'un peu plus de la moitié (52 %) de ces 716 arbres ont une hauteur de 10 m et moins ou un dhp de moins de 13 cm, ce qui justifiait le deuxième échantillonnage.

Il est possible que ce tarif s'applique moins bien aux gros arbres à Matane, mais il est peu probable que, dans cette région, les arbres atteignent les mêmes dimensions que dans le sud du Québec. De toute façon, il est toujours préférable d'avoir un plus grand nombre d'échantillons, surtout pour des arbres plus jeunes dont les dimensions résultent encore d'influences diverses sur la dynamique de croissance juvénile.

## 1.2 Mesures et cubage des arbres

### 1.2.1 Données récoltées

Sur chaque arbre, nous avons mesuré la hauteur totale de l'arbre ( $H$ ), du sol au bourgeon terminal, à l'aide d'une règle graduée ou d'un hypsomètre pour les plus grands arbres non abattus. Le diamètre ( $d$ ) a été mesuré sur écorce avec un ruban circonférentiel à différentes hauteurs ( $h$ ), soit à la hauteur de découpe normale à la souche (à 15 cm du sol) et à 30, 60, 100, 130 et 200 cm pour une meilleure prise en compte du défilement basal, puis à tous les mètres sur la longueur totale du tronc. En cas

de déformation marquée à ces niveaux (renflement, branche), la mesure était prise au-dessous ou au-dessus, en notant la hauteur exacte pour ce diamètre. Sur les arbres debout, l'épaisseur de l'écorce a été mesurée en prenant deux mesures diamétralement opposées avec une jauge d'épaisseur. Sur les arbres abattus, elle a été faite par lecture directe dans deux traits de scie faits aux niveaux déterminés. On utilise ensuite la moyenne géométrique de ces deux mesures dans les calculs. La figure 2 décrit la codification et la signification des variables associées au tarif de cubage.

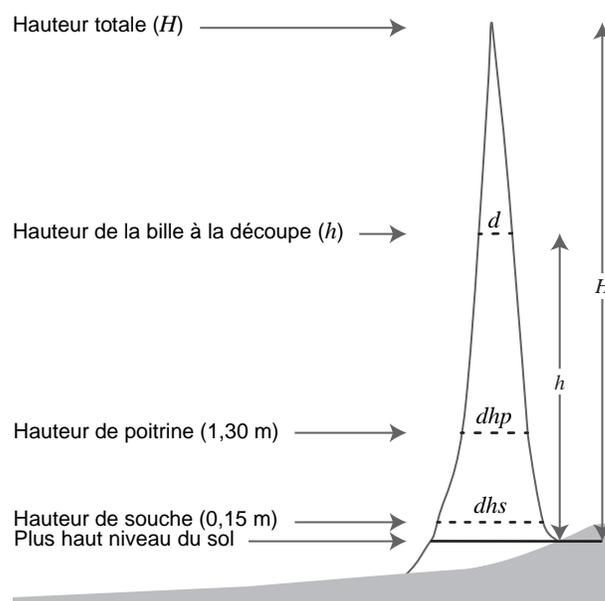


Figure 2. Schéma d'une tige et désignation des variables associées au tarif de cubage.

Tableau 3. Répartition du nombre d'arbres par classes de hauteur et de diamètre à hauteur de poitrine (dhp)

Classe de dhp (cm)	Classe de hauteur (m)															Total
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	
2	18	19														37
4		36	18													54
6		8	40	21												69
8			26	38	2	1										67
10			1	41	24	3										69
12				29	30	17										76
14				2	44	28	6	1								81
16					33	32	12									77
18					8	33	24	4	1							70
20					1	24	32	8	5	2						72
22					1	13	27	13	1	3	1					59
24						2	18	5	3	3	3					34
26							4	5	1	2	1	1				14
28								4	3	1	5	3				16
30								2	2	2	3	1				10
32										1	3	1				5
34										2	1	2				5
36												4				4
38											2	2	1			5
40										1	2	2	5			10
42												1	4			5
44												1	1			2
46												1	1	1		3
48												1				1
50												1	1			2
52														1		1
54														1	1	2
56															1	1
58															1	1
60															1	1
Total	18	63	85	131	143	153	123	42	16	17	21	21	13	3	4	853

Pour 47 tiges du site de Matane, les diamètres aux niveaux 30, 60 et 100 cm n'avaient pas été pris. Nous avons dû les estimer avec une équation de défilement (diamètre en fonction de la hauteur sur l'arbre), étalonnée à partir d'un échantillon de 146 peupliers hybrides de dimensions similaires. L'épaisseur de l'écorce a été mesurée sur la totalité des arbres d'Estcourt et de Saint-Ours, et sur 218 arbres à Matane. Les valeurs manquantes ont été estimées à l'aide d'une équation de régression en fonction du diamètre de peupliers du même clone et du même site.

### 1.2.2 Cubage des tiges

Le cubage des tiges échantillonnées a été réalisé avec l'application DÉBUTRONC (DÉSAULNIERS 1980). Le défilement de la tige  $y$  est défini par une fonction mathématique entre le rayon du tronc de l'arbre et la hauteur correspondante. L'intégrale de cette fonction permet ensuite d'évaluer le volume entre

deux niveaux quelconques le long de la tige. Les volumes avec et sans écorce (respectivement  $AE$  et  $SE$ ) sont estimés pour des rayons pouvant varier de 0 cm à l'apex (volume total) jusqu'à la base, à un rayon maximal de 33 cm pour les plus grosses tiges (soit 66 cm de diamètre sur écorce) par intervalles de 1,5 cm de rayon (ou 3 cm de diamètre). Le volume d'une tige est estimé à partir de la hauteur de souche qui est fixée à 15 cm au-dessus du plus haut niveau du sol. Il faut noter que les volumes calculés avec et sans écorce ne concernent que le tronc et excluent les branches habituellement comptabilisées dans le cubage des feuillus nobles.

## 1.3 Tarif de cubage

### 1.3.1 Volume total

Les valeurs du tarif ont été calculées à partir d'équations de régression du volume de la tige en fonction de son dhp et de sa hauteur totale.

Tableau 4. Équations testées pour l'estimation du volume total ( $V$ ) de peupliers hybrides en fonction du diamètre à hauteur de poitrine ( $dhp$ ) et de la hauteur totale ( $H$ )

Modèles
$V = \beta_0 + \beta_1(dhp^2)$
$V = \beta_0 + \beta_1(dhp) + \beta_2(dhp^2)$
$V = \beta_0 + \beta_1(dhp) + \beta_2(dhp^2) + \beta_3(H)$
$V = \beta_0 + \beta_1(dhp^2 \times H)$
$V = \beta_0 + \beta_1(dhp \times H) + \beta_2(dhp^2 \times H)$
$V = \beta_0 + \beta_1(dhp) + \beta_2(H) + \beta_3(dhp \times H) + \beta_4(dhp^2 \times H)$
$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \ln(dhp^2 \times H) + \beta_2(H)$
$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \ln(dhp^2 \times H) + \beta_2(H) + \beta_3(dhp \times H)$
$V = \beta_0 + \beta_1(dhp)^{\beta_2} (H)^{\beta_3}$
$V = \beta_0 + \beta_1(dhp)^{\beta_2}$

Les équations testées sont de forme linéaire ou non linéaire, le volume est exprimé sur l'échelle logarithmique ou non, et les variables indépendantes sont une combinaison du  $dhp$  et de la hauteur totale (tableau 4). Le modèle pour l'estimation du volume total a été choisi parmi les équations présentées au tableau 4, en fonction du coefficient de détermination ( $R^2$ ), de la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne et des graphiques basés sur les résidus, de manière à détecter d'éventuels biais. Pour les deux modèles du tableau 4 utilisant l'échelle logarithmique, ces critères ont été calculés à partir des prévisions sur l'échelle originale en appliquant la transformation inverse.

Les équations qui s'ajustaient le mieux aux données, selon les critères mentionnés ci-dessus, sont les suivantes pour le volume total avec écorce (équation 1a) et le volume total sans écorce (équation 1b) :

$$\ln(V_{AE,i}) = \beta_{0,AE} + \beta_{1,AE} \ln(dhp_i^2 H_i) + \beta_{2,AE} H_i + \varepsilon_{AE,i} \quad (1a)$$

$$\ln(V_{SE,i}) = \beta_{0,SE} + \beta_{1,SE} \ln(dhp_i^2 H_i) + \beta_{2,SE} H_i + \varepsilon_{SE,i} \quad (1b)$$

$$(\varepsilon_{AE,i}, \varepsilon_{SE,i})^T \sim N_2(\mathbf{0}, \Sigma) \quad (1c)$$

où

$V_{AE,i}$  est le volume total avec écorce de l'arbre  $i$  ( $\text{dm}^3$ ),

$V_{SE,i}$  est le volume total sans écorce de l'arbre  $i$  ( $\text{dm}^3$ ),

$dhp_i$  est le diamètre à hauteur de poitrine de l'arbre  $i$  (cm),

$H_i$  est la hauteur totale de l'arbre  $i$  (m),

$\beta_0$ ,  $\beta_1$  et  $\beta_2$  avec et sans écorce sont les coefficients de régression, et

$\varepsilon_{AE,i}$  et  $\varepsilon_{SE,i}$  sont respectivement les termes d'erreur résiduelle des équations 1a et 1b.

On présume que le vecteur  $(\varepsilon_{AE,i}, \varepsilon_{SE,i})^T$  suit une loi normale multivariée de moyenne  $\mathbf{0}$  et de variance-covariance  $\Sigma$ . La diagonale de la matrice  $\Sigma$  est composée des variances résiduelles de chacune des équations, soit  $\sigma_{AE}^2$  et  $\sigma_{SE}^2$ . Les termes d'erreur des équations 1a et 1b sont corrélés, car les volumes avec et sans écorce sont deux mesures du même arbre. Une telle corrélation est contraire à l'hypothèse d'indépendance de la régression par la méthode des moindres carrés. Elle a pour conséquence de biaiser l'estimation des paramètres des équations et leur erreur-type. La méthode SUR (*Seemingly Unrelated Regression*) est un palliatif technique au problème de dépendance

des termes d'erreur. La procédure MODEL du progiciel SAS (SAS INSTITUTE 2004a) a été utilisée pour estimer simultanément les paramètres de ces deux équations avec la méthode SUR. Les hypothèses de normalité des résidus et d'homogénéité de la variance ont été vérifiées graphiquement.

La transformation logarithmique a comme avantage d'assurer des estimations supérieures à zéro sur l'échelle originale et d'homogénéiser les résidus. Toutefois, la transformation inverse d'une estimation théoriquement sans biais donne généralement une estimation biaisée sur l'échelle originale (DUAN 1983). Ce biais peut être en partie éliminé en appliquant un facteur de correction pour une transformation logarithmique (BASKERVILLE 1971, FLEWELLING et PINEAAR 1981, UNG et VÉGIARD 1988). Une estimation sur l'échelle originale (équation 2) a donc été obtenue de la façon suivante :

$$\hat{y}_i = \exp\left(z_i + \frac{\hat{\sigma}^2}{2}\right) \quad (2)$$

où

$\hat{y}_i$  est l'estimation sur l'échelle originale,

$z_i$  est l'estimation sur l'échelle logarithmique, et

$\hat{\sigma}^2$  est l'estimation de la variance résiduelle de la régression sur l'échelle logarithmique.

### 1.3.2 Volume à diamètre et hauteur d'utilisation variables

Le volume à un diamètre d'utilisation au fin bout  $d$  a été estimé en multipliant le volume total (estimé avec l'équation 1a ou 1b) par la proportion du volume (avec ou sans écorce) d'une bille découpée à la hauteur de souche et à une hauteur qui correspond à un diamètre minimal sur écorce au fin bout  $d$ . De la même façon, pour estimer le volume à une hauteur d'utilisation variable, on multiplie le volume total par la proportion de ce volume compris entre la hauteur de souche et la hauteur d'utilisation  $h$ . Cette approche nécessite le développement d'une équation pour estimer cette proportion du volume total.

La proportion du volume total augmente de façon monotone de 0 à 1 avec l'augmentation de la hauteur relative  $h/H$  de 0 à 1 (où  $H$  est la hauteur totale), et avec la diminution du diamètre relatif  $d/dhp$ , de plus grand que 1 à 0 (Figure 3). La proportion du volume total à une hauteur d'utilisation  $h$  ( $P_h$ ) est exprimée comme une fonction de  $h/H$ ,  $P_h = f_1(h/H)$ . De la même façon, la proportion de volume total à

un diamètre d'utilisation  $d$  ( $P_d$ ) est exprimée comme une fonction de  $d/dhp$ ,  $P_d = f_2(d/dhp)$ . Les fonctions  $f_1$  et  $f_2$  peuvent prendre plusieurs formes. Les équations de PRÉGENT *et al.* (2001) et de PRÉGENT *et al.* (2010) ont été testées pour modéliser  $P_h$  et  $P_d$ . De plus, les équations de Bi (1999) ont été testées pour modéliser  $P_h$ , tandis que l'équation de Bi (2000) a été testée pour modéliser  $P_d$ .

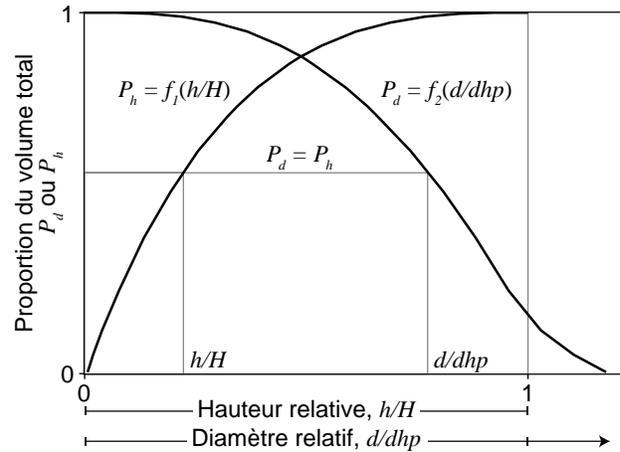


Figure 3. Relations entre la proportion du volume total et la hauteur relative ( $h/H$ ), et entre la proportion du volume total et le diamètre relatif ( $d/dhp$ ).

Pour modéliser la relation entre la proportion du volume total sans écorce et la hauteur relative, l'équation *spline cubique* (équation polynomiale du troisième degré avec des nœuds pour modifier la trajectoire de la courbe) de PRÉGENT *et al.* (2010) est celle qui s'ajustait le mieux aux données de cette étude, selon le coefficient de détermination ( $R^2$ ), la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne et des graphiques basés sur les résidus, de manière à détecter d'éventuels biais (équations 3) :

$$P_{SE,h,i} = \beta_{0,SE} + \beta_{1,SE} \left(\frac{h}{H_i}\right) + \beta_{2,SE} \left(\frac{h}{H_i}\right)^2 + \beta_{3,SE} \left(\frac{h}{H_i}\right)^3 + \beta_{4,SE} I_a \left(\frac{h}{H_i} - a\right)^3 + \beta_{5,SE} I_b \left(\frac{h}{H_i} - b\right)^3 + \varepsilon_{SE,h,i} \quad (3a)$$

$$I_a = \begin{cases} 0, & h/H_i \leq a \\ 1, & h/H_i > a \end{cases} \quad (3b)$$

$$I_b = \begin{cases} 0, & h/H_i \leq b \\ 1, & h/H_i > b \end{cases} \quad (3c)$$

$$\varepsilon_{SE,i} = (\varepsilon_{SE,1,i}, \varepsilon_{SE,2,i}, \dots, \varepsilon_{SE,m_i,i})^T \sim N_{m_i}(\mathbf{0}, \mathbf{R}_{SE,i}) \quad (3d)$$

où

$P_{SE,h,i}$  est la proportion du volume total sans écorce entre la hauteur de souche et la hauteur d'utilisation  $h$  de l'arbre  $i$ ,

$H_i$  est la hauteur totale (m) de l'arbre  $i$ ,

$h$  est la hauteur d'utilisation (m) à partir du sol avec  $h < H_i$ ,

$a$  et  $b$  sont les positions des nœuds,

$\beta_{0,SE}, \dots, \beta_{5,SE}$  sont les coefficients de régression, et

$\varepsilon_{SE,h,i}$  est le terme d'erreur résiduelle.

On suppose que le vecteur  $\boldsymbol{\varepsilon}_{SE,i}$  suit une loi normale multivariée de dimension  $m_i$ , correspondant au nombre de hauteurs d'utilisation différentes sur l'arbre  $i$ , de moyenne  $\mathbf{0}$  et de variance-covariance  $\mathbf{R}_{SE,i}$ . Les équations pour la proportion du volume total avec écorce sont les mêmes que les équations 3a à 3d, avec l'indice  $AE$  au lieu de  $SE$ .

La relation entre la proportion du volume total sans écorce et le diamètre relatif (équations 4a et 4b) est représentée par une équation cubique :

$$P_{SE,d,i} = \beta_{0,SE} + \beta_{1,SE} \left( \frac{d}{dhp_i} \right) + \beta_{2,SE} \left( \frac{d}{dhp_i} \right)^2 + (\beta_{3,SE} + \beta_{4,SE} dhp_i) \left( \frac{d}{dhp_i} \right)^3 + \varepsilon_{SE,d,i} \quad (4a)$$

$$\boldsymbol{\varepsilon}_{SE,i} = (\varepsilon_{SE,1,i}, \varepsilon_{SE,2,i}, \dots, \varepsilon_{SE,m_i,i})^T \sim N_{m_i}(\mathbf{0}, \mathbf{R}_{SE,i}) \quad (4b)$$

où

$P_{SE,d,i}$  est la proportion du volume total sans écorce entre la hauteur de souche et la hauteur à un diamètre au fin bout  $d$  pour l'arbre  $i$ ,

$dhp_i$  est le diamètre à hauteur de poitrine (cm) de l'arbre  $i$ ,

$d$  est le diamètre au fin bout (cm) avec  $d < dhp$ ,

$\beta_{0,SE}, \dots, \beta_{4,SE}$  sont les coefficients de régression, et

$\varepsilon_{SE,d,i}$  est le terme d'erreur résiduelle.

On suppose que le vecteur  $\boldsymbol{\varepsilon}_{SE,i}$  suit une loi normale multivariée de dimension  $m_i$ , correspondant au nombre des différents diamètres d'utilisation sur

l'arbre  $i$ , de moyenne  $\mathbf{0}$  et de variance-covariance  $\mathbf{R}_{SE,i}$ . Les équations pour la proportion du volume total avec écorce sont les mêmes que les équations 4a et 4b, avec l'indice  $AE$  au lieu de  $SE$ .

Seules les 551 tiges ayant atteint un diamètre marchand à une hauteur de 2,44 m (8 pieds) ont été utilisées pour l'étalonnage des équations 3 et 4. Ces équations ont été étalonnées séparément avec la procédure MIXED du progiciel SAS (SAS INSTITUTE 2004b). Le choix du nombre de nœuds dans l'équation 3a a été basé sur la minimisation du critère d'information d'Akaike (AIC). Afin de tenir compte des corrélations entre les mesures inégalement espacées prises sur un même arbre (hauteurs non constantes), une structure autorégressive continue de premier ordre a été utilisée (GREGOIRE *et al.* 1995) et exprimée par le biais de la matrice  $\mathbf{R}_{SE,i}$  des équations 3d ou 4b. Pour l'équation 4, la pondération  $(d/dhp)^3$  a été utilisée pour corriger l'hétérogénéité de la variance. Les hypothèses de normalité des résidus et d'homogénéité de la variance ont été vérifiées graphiquement.

En multipliant la proportion de volume sans écorce obtenue à l'aide de l'équation 4a par le volume total sans écorce obtenu à l'aide de l'équation 1b, on obtient le volume sans écorce  $V_{SE,d,i}$  de la souche jusqu'à un diamètre au fin bout  $d$  (équation 5) :

$$V_{SE,d,i} = P_{SE,d,i} \times V_{SE,i} \quad (5)$$

Le volume sans écorce de la souche jusqu'à une hauteur  $h$ ,  $V_{SE,h,i}$ , est obtenu de manière similaire selon l'équation 6 :

$$V_{SE,h,i} = P_{SE,h,i} \times V_{SE,i} \quad (6)$$

Le volume avec écorce de la souche jusqu'à un diamètre au fin bout  $d$  ( $V_{AE,d,i}$ ) et le volume avec écorce de la souche jusqu'à une hauteur  $h$  ( $V_{AE,h,i}$ ), sont obtenus de la même façon, en substituant  $V_{SE,i}$  par  $V_{AE,i}$ ,  $P_{SE,d,i}$  par  $P_{AE,d,i}$  et  $P_{SE,h,i}$  par  $P_{AE,h,i}$  dans les équations 5 et 6.

### 1.3.3 Nombre et volume de billons de différentes longueurs

En combinant l'équation 4a, qui donne la proportion du volume total en fonction de  $d/dhp$ , avec l'équation 3a, qui calcule la proportion de ce même volume total en fonction de  $h/H$ , nous pouvons estimer la hauteur à laquelle une tige a un diamètre marchand et de là, connaître sa longueur et son volume. Pour obtenir ces résultats, il faut d'abord calculer la proportion du volume à un diamètre de

9 cm à l'aide de l'équation 4a. On utilise ensuite cette proportion dans l'équation 3a pour calculer la hauteur  $h$  à laquelle le diamètre marchand est obtenu. Ceci nécessite d'isoler  $h$  dans l'équation 3a par un calcul numérique, puisqu'il est impossible d'effectuer cette opération analytiquement à cause de la forme de l'équation.

Cette approche permet aussi de déterminer le nombre et les volumes respectifs des billons de 4 (1,22 m), 8 (2,44 m), 12 (3,66 m) ou 16 pieds (4,88 m), ayant au moins 9 cm au fin bout, qu'il est possible de découper dans cette bille jusqu'au diamètre de 9 cm.

#### 1.4 Validation des modèles

Pour évaluer la fiabilité et la justesse des modèles retenus, nous avons utilisé la méthode de la validation croisée (VANCLAY et SKOVSGAARD 1997) : avant l'étalonnage, les observations sont divisées en 10 groupes, ce qui permet d'étalonner les équations 10 fois, en retirant un groupe différent à chaque occasion. Les prévisions du groupe retiré sont obtenues en utilisant l'équation étalonnée à partir des neuf autres groupes d'observations, puis sont comparées aux valeurs observées. Par la suite, l'ensemble des observations, c'est-à-dire les 10 groupes, est utilisé pour étalonner la version finale de l'équation. Dans cet exercice, il faut noter qu'à chaque fois qu'une équation (équations 5 et 6) contient une variable explicative prédite par une autre équation située en amont du modèle (équations 1, 3 et 4), la valeur prédite est utilisée dans l'équation située en aval. Pour les équations 1a et 1b, le biais (équation 7) et la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (équation 8), qui sera appelée

erreur, sont calculés pour l'ensemble des observations, par classe de dhp, par classe de hauteur totale et par site. Pour les équations 5 et 6, le biais et l'erreur sont calculés pour l'ensemble des observations et par classe de  $d/dhp$  (ou  $h/H$ ).

$$\text{Biais} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)}{n} \quad (7)$$

$$\text{Erreur} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (8)$$

où

$y_i$  est la valeur observée de l'arbre  $i$ ,

$\hat{y}_i$  est la valeur estimée de l'arbre  $i$ , et

$n$  est le nombre d'arbres.

Les valeurs de  $y_i$  et  $\hat{y}_i$  sont sur l'échelle originale des observations. Pour la prévisions du volume total avec et sans écorce, la valeur estimée  $\hat{y}_i$  est calculée en utilisant l'équation 2. Les valeurs relatives du biais et de l'erreur sont obtenues en divisant le résultat des équations 7 et 8 par la moyenne des valeurs observées. Le biais correspond à l'erreur associée à la prédiction pour l'ensemble des arbres, tandis que la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne est l'erreur associée à la prédiction pour un seul arbre. Si le biais est positif, le modèle sous-estimera les observations; s'il est négatif, il aura tendance à surestimer les données observées.

# Chapitre 2

## Résultats

### 2.1 Tarif de cubage

#### 2.1.1 Volume total

Le tableau 5 présente les paramètres de l'équation 1 pour la prévision des volumes totaux avec et sans écorce ainsi que leur erreur-type et les résultats de la validation croisée.

Le coefficient de détermination ( $R^2$ ) est de 99,6 % pour le volume total avec écorce et de 99,0 % pour le volume total sans écorce. Les biais des modèles de prévision des volumes totaux avec et sans écorce sont inférieurs à 0,5 %, tandis que les erreurs sont respectivement de 20 dm<sup>3</sup> pour le volume total avec écorce et 25,5 dm<sup>3</sup> pour le volume total sans écorce. Cette erreur indique qu'il y a une incertitude moyenne de 12,7 % sur la prévision du volume total avec écorce d'un arbre de volume total moyen de 158 dm<sup>3</sup>.

L'incertitude relative diminue avec l'augmentation de la dimension des arbres; elle passe de 19 %, pour un dhp de 2 cm, à 5 % pour un dhp compris

entre 44 et 60 cm. La valeur élevée de l'incertitude pour un dhp de 2 cm s'explique par la faible dimension de l'arbre. À partir d'un dhp de 8 cm, elle est inférieure à 10 %.

Le biais relatif sur l'estimation du volume total avec ou sans écorce en fonction des classes de dhp ou de celles de hauteur totale est toujours inférieur à 5 % en valeur absolue, à l'exception de la classe de hauteur 2-3 m, où le biais est un peu plus grand, ce qui s'explique par le faible volume observé (Figure 4). En général, il n'y a donc pas de problème d'estimation sur l'ensemble de la courbe.

Nous avons aussi calculé les biais en fonction des sites d'échantillonnage (Tableau 6). Les estimations des volumes totaux sans écorce ont un biais moyen de 1,5 % pour les 763 tiges du site de Matane, soit celles de plus faible volume. L'équation surestime le volume total sans écorce des 15 tiges provenant d'Estcourt (biais de -8,1 %) et, à moindre échelle, celui des 20 tiges de Saint-Ours 2 (-0,8 %), soit celles de plus fort volume. Ce même volume

Tableau 5. Valeurs estimées des paramètres (erreurs-types entre parenthèses), erreur résiduelle estimée  $\hat{\sigma}$  [ln(dm<sup>3</sup>)], coefficients de détermination ( $R^2$ ), biais et erreur (valeurs relatives entre parenthèses) de l'équation 1 utilisée pour prédire les volumes totaux de peupliers hybrides sans et avec écorce

Paramètres	Volume total sans écorce		Volume total avec écorce	
$\hat{\beta}_0$	-2,3609	(0,0195)	-2,1359	(0,0183)
$\hat{\beta}_1$	0,7829	(0,0047)	0,7707	(0,0044)
$\hat{\beta}_2$	0,0362	(0,0017)	0,0396	(0,0016)
$\hat{\sigma}$	0,1085		0,1018	
$R^2$ (%)	99,0		99,6	
Biais (dm <sup>3</sup> )	0,4	(0,3 %)	0,5	(0,3 %)
Erreur (dm <sup>3</sup> )	25,5	(19,3 %)	20,0	(12,7 %)

Tableau 6. Biais (valeurs relatives entre parenthèses) sur l'estimation du volume total moyen de peupliers hybrides sans et avec écorce, en fonction du site (n : nombre d'observations)

Site	n	Volume total sans écorce		Volume total avec écorce	
		Moyenne (dm <sup>3</sup> )	Biais	Moyenne (dm <sup>3</sup> )	Biais
Saint-Ours 1	55	422,3	14,9 (3,5 %)	495,9	9,7 (2,0 %)
Saint-Ours 2	20	1296,4	-10,3 (-0,8 %)	1552,6	-16,2 (-1,0 %)
Estcourt	15	848,9	-68,7 (-8,1 %)	1080,5	-15,8 (-1,5 %)
Matane	763	67,1	1,0 (1,5 %)	78,7	0,6 (0,8 %)

total sans écorce est sous-estimé de 3,5 % pour les 55 tiges provenant de Saint-Ours 1, soit les tiges de volume intermédiaire. Les biais sont dans les mêmes sens pour la prévision du volume total avec écorce, mais avec de plus faibles valeurs.

Les résultats pour le volume total sans écorce sont présentés graphiquement à la figure 5 et sous la forme d'un tableau à l'annexe C. Le volume total avec écorce, variable utilisée moins fréquemment, est présenté à l'annexe D. Dans ces annexes, les

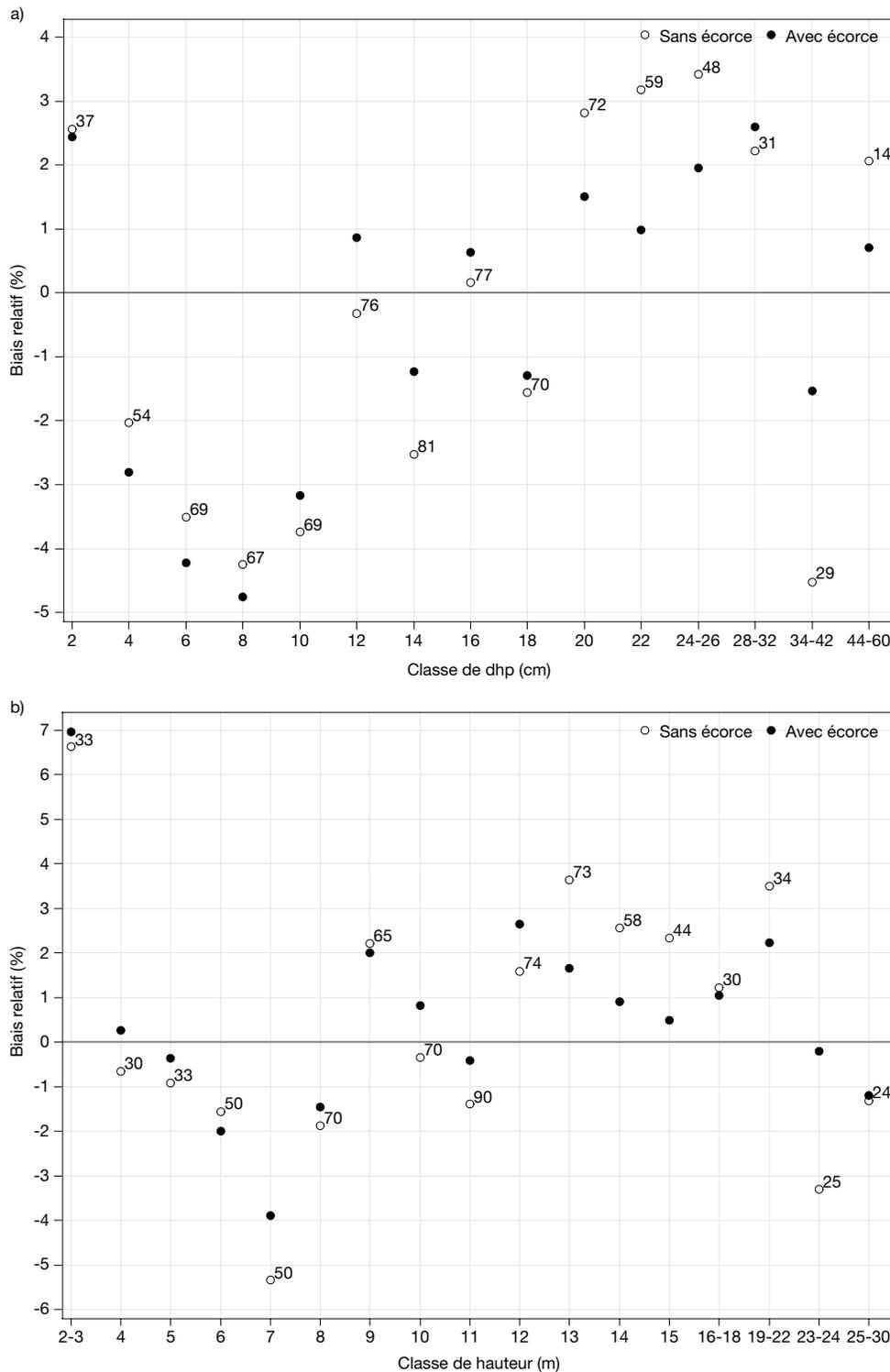


Figure 4. Biais relatif sur l'estimation du volume total sans et avec écorce du peuplier hybride en fonction (a) des classes de dhp et (b) des classes de hauteur. Le nombre d'observations dans la classe est inscrit à côté de chaque paire de symboles.

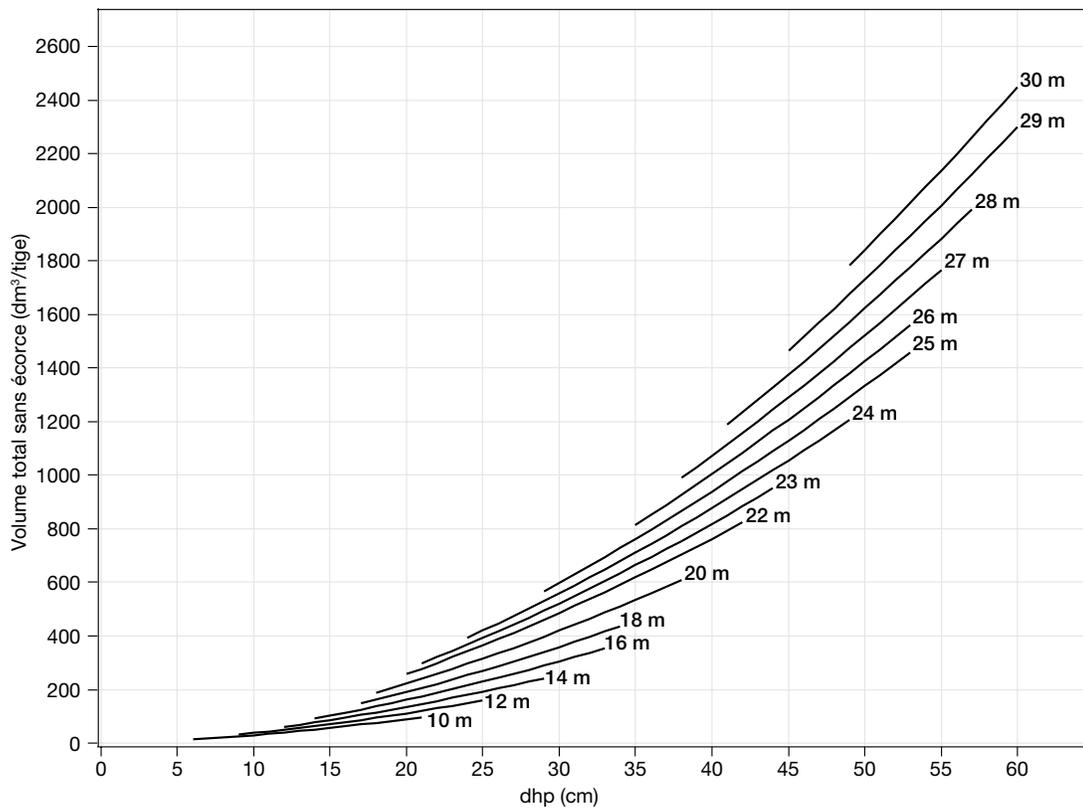


Figure 5. Estimation du volume total sans écorce d'une tige de peuplier hybride en fonction du dhp, pour différentes hauteurs totales.

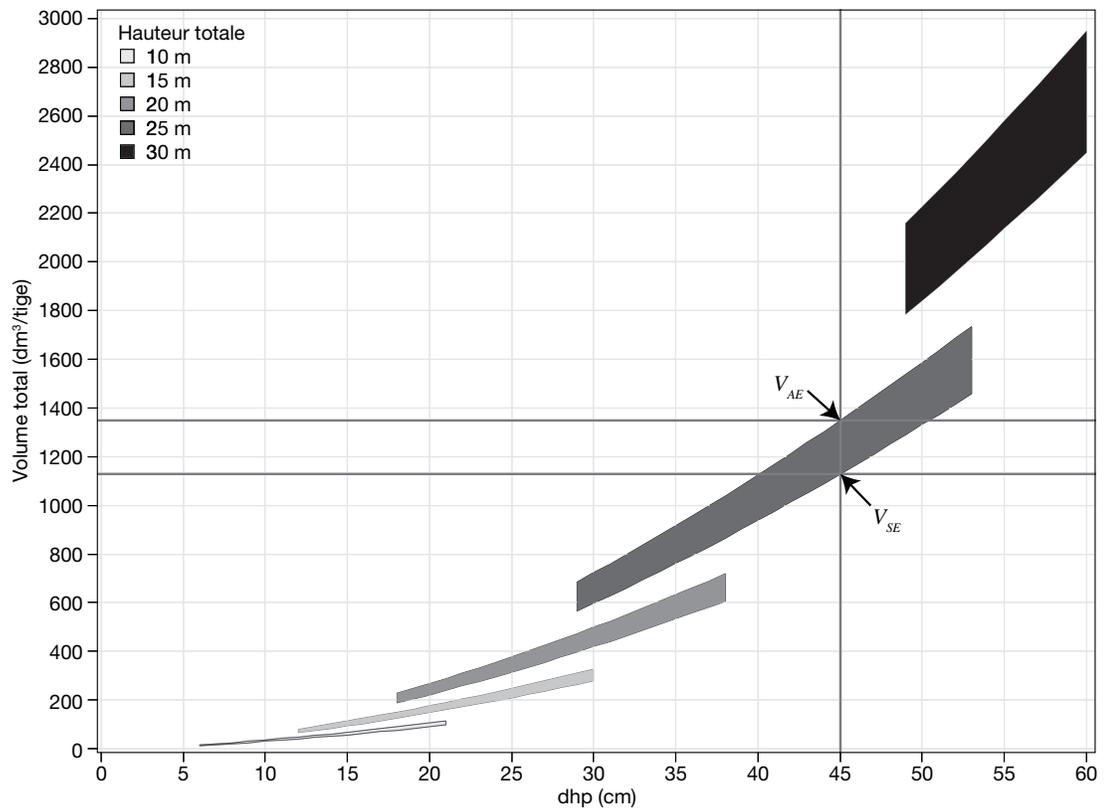


Figure 6. Estimation des variations du volume d'écorce du peuplier hybride en fonction du dhp et de la hauteur totale ( $V_{AE}$  : volume total avec écorce;  $V_{SE}$  : volume total sans écorce).

nombres en italique représentent des estimations pour des combinaisons de dhp et de hauteur non représentées dans les données.

La figure 6 montre la variation du volume d'écorce d'un arbre en fonction du dhp et de 5 hauteurs totales (10, 15, 20, 25 et 30 m). Pour l'exemple d'un dhp de 45 cm et une hauteur de 25 m (illustré avec des lignes, Figure 6), le volume avec écorce est 1348 dm<sup>3</sup> et celui sans écorce est 1129 dm<sup>3</sup>; la différence de volume de 219 dm<sup>3</sup> correspond à l'écorce. Notons ici que l'augmentation du volume d'écorce pour les plus gros arbres peut avoir des conséquences importantes pour une industrie.

### 2.1.2 Volume à diamètre et hauteur d'utilisation variables

Les paramètres de l'équation 4 pour la prévision de la proportion des volumes sans et avec écorce à diamètre d'utilisation variable sont présentés au tableau 7. Il faut noter que les rapports  $d/dhp$  supérieurs à 1, soit pour la partie de l'arbre en dessous du dhp, ont dû être retirés lors de l'étalonnage car il n'a pas été possible de trouver un modèle s'ajustant bien à cette portion de la courbe (23 % des observations). Ainsi, le volume peut être prédit seulement pour un diamètre d'utilisation inférieur au dhp, donc pour des billons dont la découpe supérieure est faite à une hauteur  $h$  supérieure à 1,30 m.

Les estimations obtenues avec ce modèle sont présentées sous forme de tableaux à l'annexe E pour la proportion du volume sans écorce et à l'annexe F pour la proportion du volume avec écorce. Lorsque  $d$  prend la valeur de 9 cm dans l'équation 4 et qu'on utilise l'équation 5, on obtient le volume marchand sans écorce (Figure 7 et Annexe G). Le volume marchand avec écorce est présenté à l'annexe H. À titre d'exemple, l'illustration de ces résultats à la figure 8 montre la répartition du volume total sans écorce selon le diamètre minimal d'utilisation (0, 9, 12, 15 et 18 cm), en fonction du dhp pour des arbres de 10, 12, 14, 16 et 18 m de hauteur totale.

La proportion de volume sans écorce ou avec écorce, de la hauteur de souche jusqu'à une hauteur  $h$ , est obtenue par l'équation 3 dont les paramètres sont présentés au tableau 7. Les annexes I et J présentent, sous forme de tableaux, les prévisions de proportion de volume sans écorce et avec écorce. Le volume sans écorce compris entre la hauteur de souche jusqu'à une hauteur  $h$  est obtenu avec l'équation 6.

La figure 9 présente quelques exemples de la répartition du volume total sans écorce pour des longueurs de bille de 8, 16 et 24 pieds, en fonction du dhp (10 à 30 cm) pour des arbres de 10, 12, 14, 16 et 18 m de hauteur totale. Cette figure illustre les

Tableau 7. Valeurs estimées des paramètres des équations 3 et 4 de prévision de la proportion des volumes de peupliers hybrides avec et sans écorce, pour un diamètre et une hauteur variables (erreurs-types entre parenthèses), paramètre d'autocorrélation ( $\hat{\rho}$ ), erreur résiduelle ( $\hat{\sigma}$ ), coefficient de détermination ( $R^2$ ), biais et erreur

		Diamètre variable		Hauteur variable	
		Sans écorce	Avec écorce	Sans écorce	Avec écorce
Paramètres	$\hat{\beta}_0$	0,9979 (0,0001)	0,9981 (0,0001)	-0,0475 (0,0011)	-0,0486 (0,0011)
	$\hat{\beta}_1$	0,0435 (0,0022)	0,0405 (0,0022)	4,2611 (0,0277)	4,3331 (0,0254)
	$\hat{\beta}_2$	-0,2382 (0,0086)	-0,2308 (0,0083)	-12,4957 (0,3491)	-12,7698 (0,3194)
	$\hat{\beta}_3$	-0,3953 (0,0095)	-0,3992 (0,0092)	28,7140 (1,2881)	28,9462 (1,1784)
	$\hat{\beta}_4$	-0,0076 (0,0003)	-0,0074 (0,0003)	-25,7592 (1,3663)	-25,6300 (1,2500)
	$\hat{\beta}_5$			-1,9068 (0,1252)	-2,2622 (0,1147)
	$\hat{\rho}$	0,2850	0,2857	-0,3176	-0,3399
	$\hat{\sigma}$	0,0505	0,0492	0,0233	0,0220
Nœuds	a			0,1	0,1
	b			0,3	0,3
$R^2$ (%)		98,0	98,9	98,9	99,6
Biais* (dm <sup>3</sup> )		4,3 (1,7 %)	5,6 (1,8 %)	0,6 (0,3 %)	1,2 (0,5 %)
Erreur* (dm <sup>3</sup> )		54,3 (21,4 %)	49,1 (16,2 %)	36,1 (18,1 %)	26,7 (11,2 %)

\* Le  $R^2$ , le biais et l'erreur sont obtenus de la validation croisée des volumes à diamètre et hauteur d'utilisation variables, et non de la validation croisée des modèles pour estimer la proportion du volume.

possibilités de découpe en fonction des dimensions d'un arbre. Par exemple, ce n'est qu'à partir de 25 cm de dhp et de 12 m de hauteur totale qu'il est possible de découper une bille de 24 pieds (7,32 m) avec un diamètre de 9 cm au fin bout.

L'erreur varie de 11 à 21 % sur l'estimation du volume à l'aide des tarifs à diamètre et à hauteur variables (Tableau 7). Les tarifs à diamètre variables sous-estiment d'environ 2 % les volumes observés, tandis que les biais sont inférieurs à 0,5 % pour les tarifs à hauteur variable. En fonction du rapport  $d/dhp$ , les biais sur le volume de bille sans écorce varient de -1,4 % à 4,4 %, à l'exception de la classe de rapport 1 (biais de 8,4 %), à cause du faible volume observé (Figure 10a). Les biais sont du même ordre de grandeur pour les volumes à diamètre variable des billes, avec écorce. Le biais sur l'estimation du volume sans écorce en fonction du rapport  $h/H$  est constant, variant de -2 % à +2 %, à l'exception de la classe 0,1 dont le biais de 5,7 % est associé au faible volume de ces tiges (Figure 10b).

### 2.1.3 Nombre et volumes de billons de différentes longueurs

L'annexe K présente les possibilités de découpe en billons de 4 pieds (1,22 m), 8 pieds (2,44 m), 12 pieds (3,66 m) et 16 pieds (4,88 m) ayant au moins 9 cm au fin bout, que l'on peut découper

dans une tige ayant au moins 9 cm de diamètre à une hauteur de 8 pieds (2,44 m). Par exemple, dans une tige avec un dhp de 25 cm et une hauteur de 19 m, il est possible de faire, au choix : 9 billons de 4 pieds, 4 billons de 8 pieds, 3 billons de 12 pieds ou 2 billons de 16 pieds (Annexe K, cellules grisées). Il faut noter que ces calculs tiennent compte d'un ajout d'une longueur de 4 pouces (10 cm) à chaque billon, pour respecter les normes opérationnelles de découpe par les bûcherons.

Les annexes L, M et N présentent les volumes sans écorce de chacun des billons de 8, 12 et 16 pieds. Ainsi, dans une tige de 19 m de hauteur et 25 cm de dhp, les volumes des 4 billons de 8 pieds que l'on peut découper sont respectivement de 112, 74, 49 et 31  $dm^3$ , et le volume restant est de 13  $dm^3$  (Annexe L, cellules grisées). Pour ces mêmes dimensions de bille, avec une découpe en billons de 12 pieds, les volumes des trois billons sont respectivement de 152, 82 et 41  $dm^3$ , et le volume restant est de 4  $dm^3$  (Annexe M, cellules grisées). Les volumes avec écorce pour toutes ces combinaisons de découpe sont présentés aux annexes O, P et Q. À noter que l'on peut toujours découper plus de 5 billons de 8 ou de 12 pieds à partir d'une certaine dimension (voir Annexe K), mais que seuls les volumes des 5 premiers billons sont indiqués dans les annexes L, M, O et P.

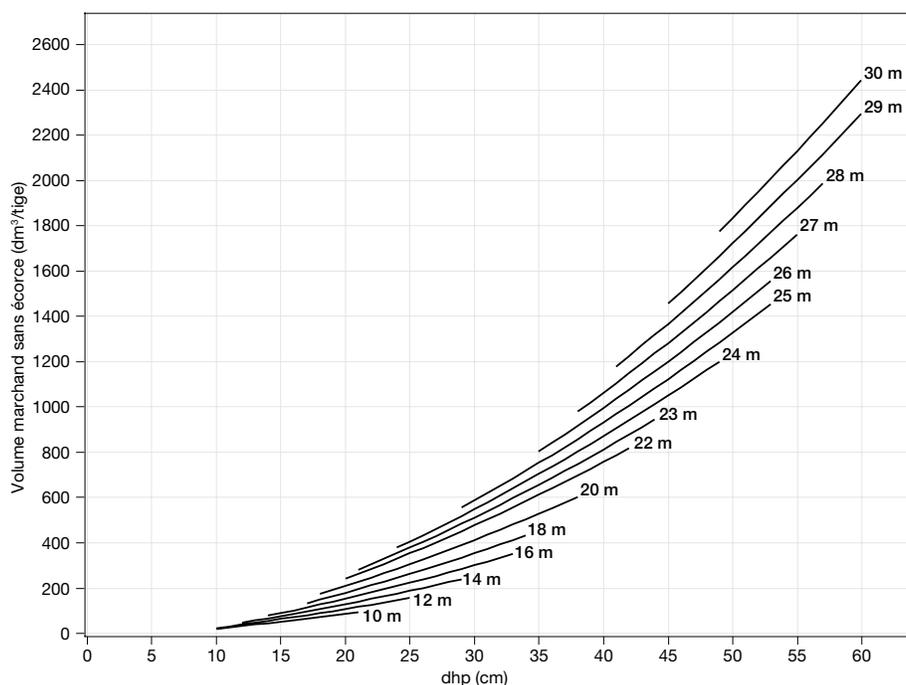


Figure 7. Estimation du volume marchand (découpe à 9 cm au fin bout) sans écorce d'une tige de peuplier hybride en fonction du dhp, pour différentes hauteurs totales.

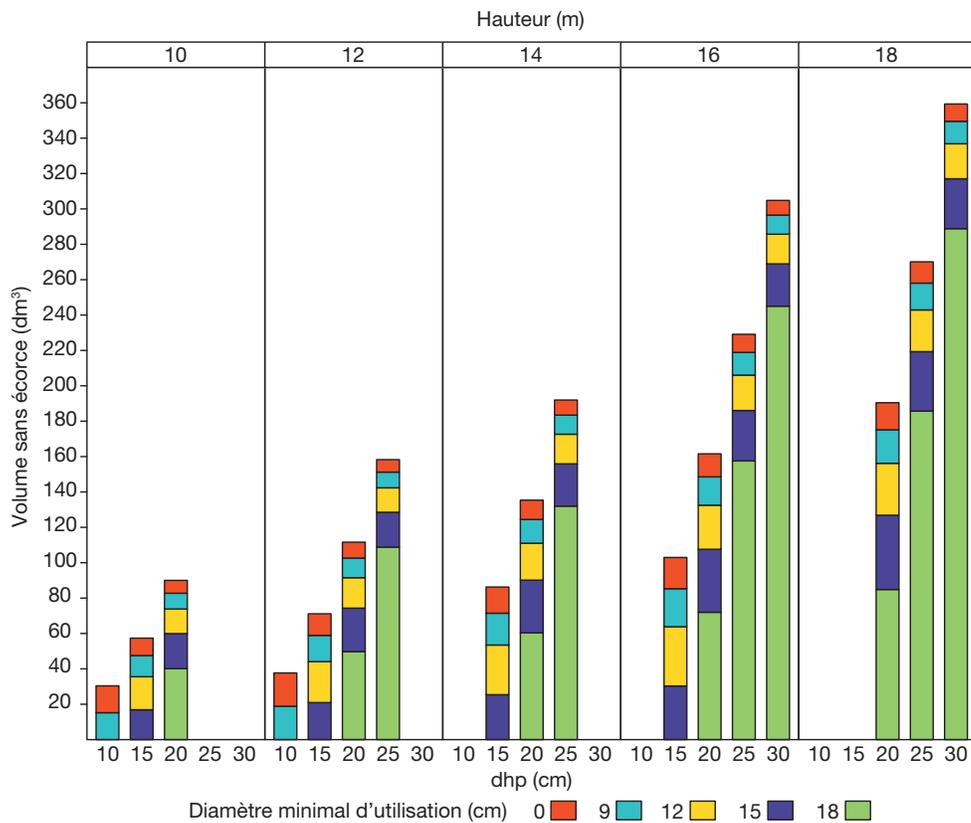


Figure 8. Répartition du volume total sans écorce du peuplier hybride selon le diamètre minimal d'utilisation, en fonction du dhp, pour des hauteurs totales de 10, 12, 14, 16 et 18 m.

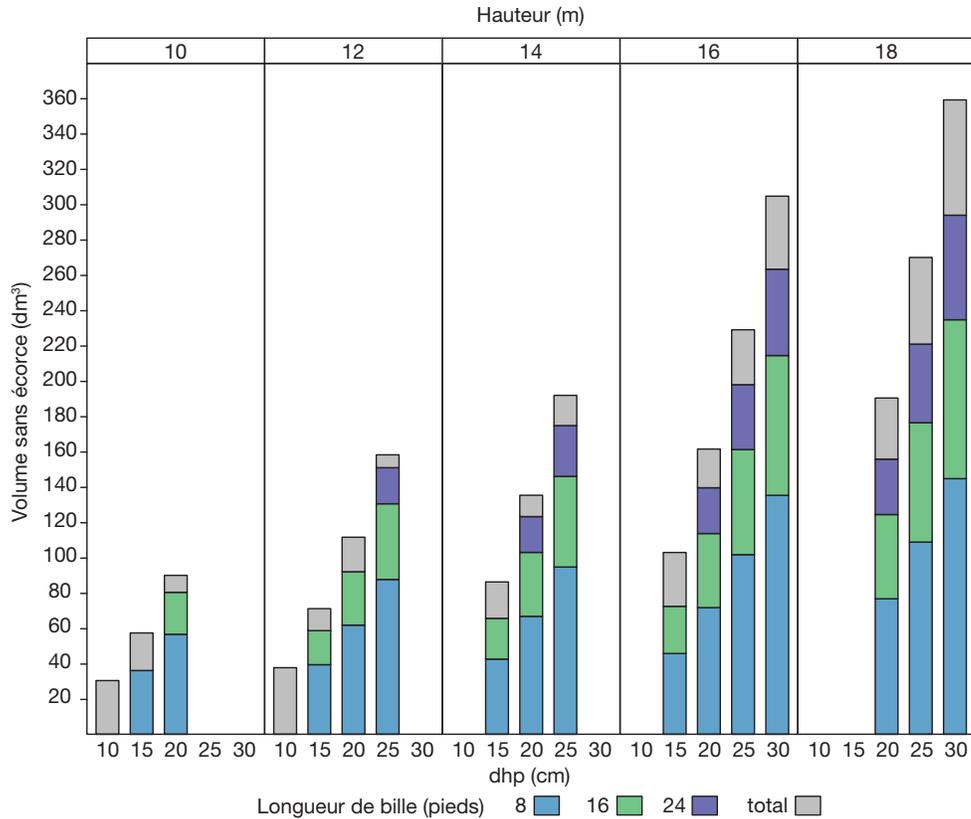


Figure 9. Répartition du volume total sans écorce du peuplier hybride selon la longueur de bille, en fonction du dhp, pour des hauteurs totales de 10, 12, 14, 16 et 18 m.

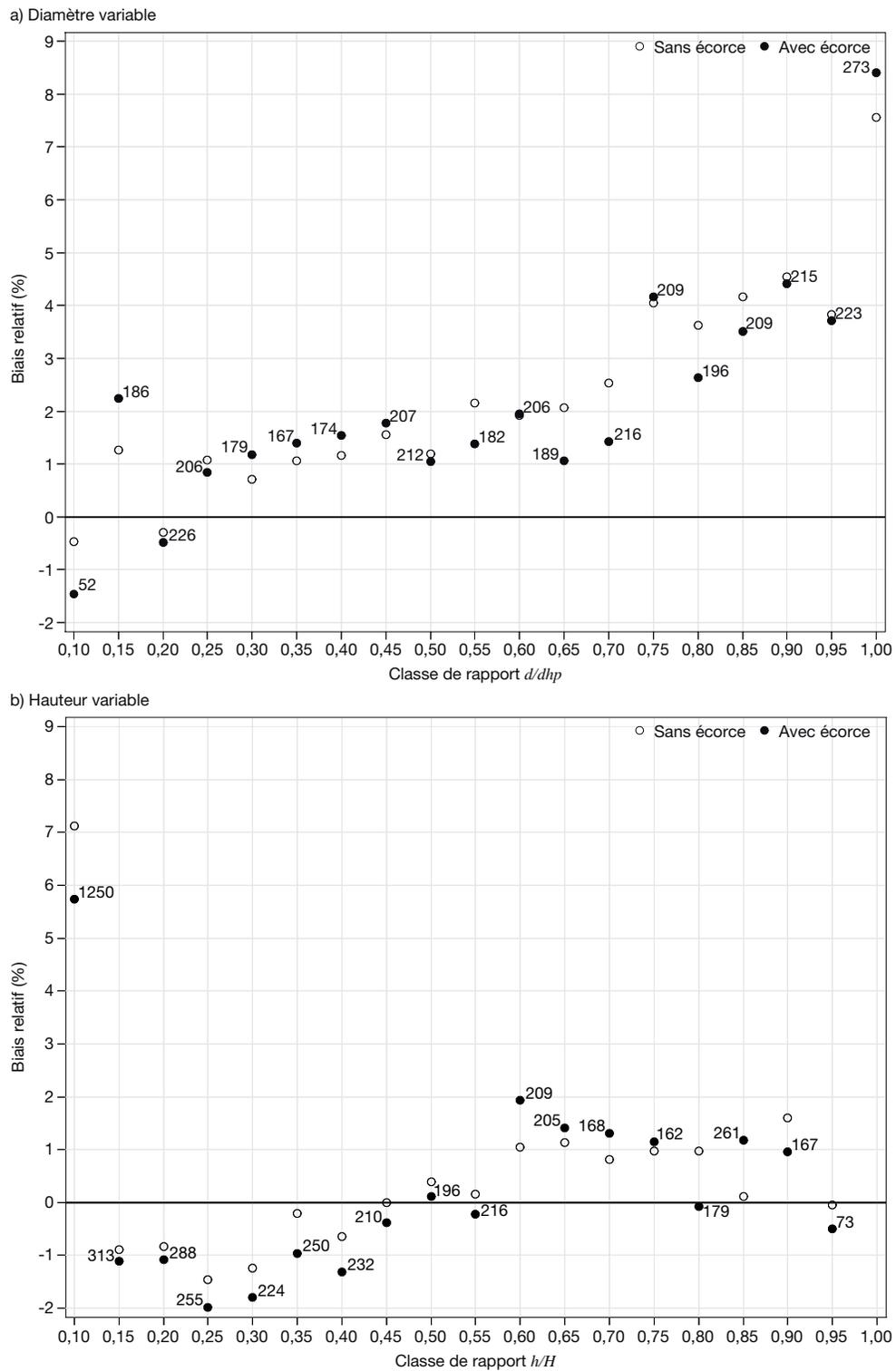


Figure 10. Biais relatif sur l'estimation du volume de bille de peuplier hybride sans et avec écorce en fonction (a) de la classe de rapport  $d/d_{hp}$  ou (b) de la classe de rapport  $h/H$ . Le nombre d'observations dans la classe est inscrit à côté de chaque paire de symboles.



# Chapitre 3

## Discussion

### 3.1 Comparaisons

Nous avons comparé les résultats obtenus de ce tarif de cubage avec les rares tarifs actuellement disponibles et évoqués en introduction, même si ceux-ci ont été construits pour des clones et des conditions pas toujours similaires aux nôtres. Les tarifs de POPOVICH (1986) au Québec et de BOYSEN et STROBL (1991) en Ontario étaient, à ce jour, les deux seuls utilisables ici, à cause d'une plus grande similarité d'environnement, de techniques culturales et de types de clones avec les caractéristiques de nos propres plantations. Ces caractéristiques sont totalement différentes pour les peupleraies européennes.

Les comparaisons du volume total calculé avec notre tarif et celui de POPOVICH (1986), bâti à partir de 365 arbres de 7 à 21 m de hauteur et de 7 à 46 cm de dhp, montrent des différences qui augmentent avec le dhp pour une hauteur donnée, particulièrement pour les dhp supérieurs à 20 cm (Figure 11). Le tarif de POPOVICH (1986) prend en compte la hauteur totale de l'arbre dans les équations et non la

hauteur de bille, de sorte que le volume de la souche serait inclus. Ceci pourrait expliquer une partie des écarts constatés, le volume de la souche étant plus influent pour les tiges de plus gros diamètre. La précision des valeurs estimées par le tarif de POPOVICH (1986) est de  $\pm 7,4$  à  $7,7$  % dans 95 % des cas, et l'erreur-type sur le volume des tiges est de 16,3 % (comparativement à 12,7 % dans cette étude). Notons que le niveau de précision indiqué par POPOVICH (1986) n'est valide que jusqu'à 18 m de hauteur et 32 cm de dhp, la distribution initiale jusqu'à 21 m de hauteur et 46 cm de dhp, ayant été amputée d'une quarantaine d'arbres.

Par contre, les résultats de notre étude sont très similaires à ceux du tarif de l'Ontario (BOYSEN et STROBL 1991). Ce tarif, limité à une hauteur de 20 m et un dhp de 28 cm, est construit à partir de mesures prises sur 407 tiges de clones du type DxN. La figure 11 permet de comparer nos résultats et ceux de BOYSEN et STROBL (1991) pour le volume total d'une tige avec écorce, sans les branches, calculé à partir de l'équation dite générale ( $R^2 = 0,9877$ ,

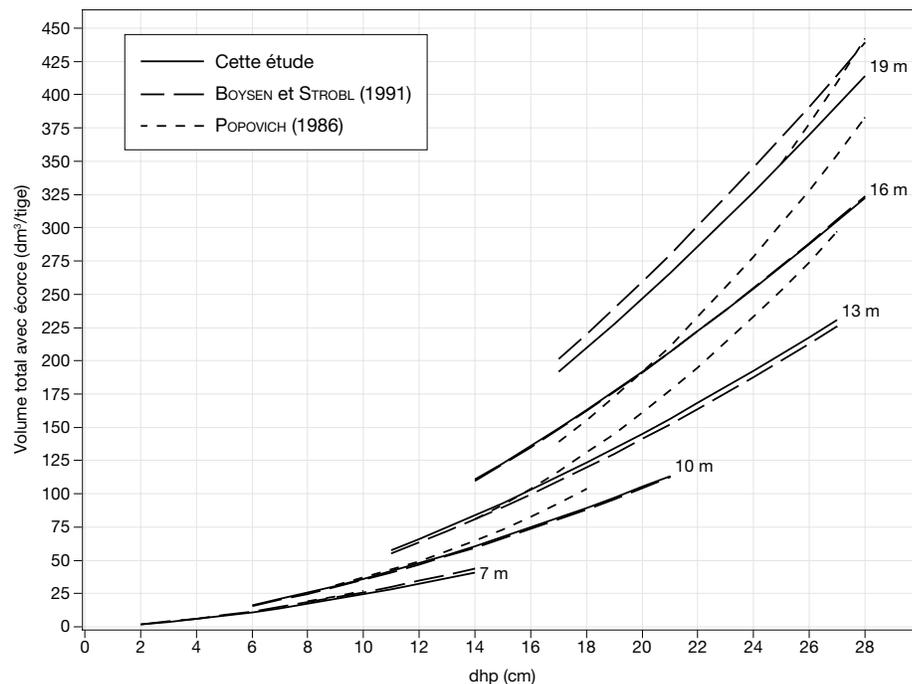


Figure 11. Comparaison de l'estimation du volume total de tiges de peuplier hybride avec écorce en fonction du dhp, pour différentes hauteurs totales, entre cette étude et les tarifs de cubage de BOYSEN et STROBL (1991) et de POPOVICH (1986).

erreur-type =  $0,0986 [\ln(\text{dm}^3)]$ ) qui s'applique aux 407 tiges de l'échantillon. On observe peu de différences entre les deux tarifs, si ce n'est des valeurs un peu plus élevées avec le tarif de BOYSEN et STROBL (1991) pour des hauteurs égales ou supérieures à 19 m, et des différences qui s'accroissent quand le dhp augmente. Ici encore, ceci pourrait venir du fait que ces auteurs ont pris en compte la hauteur totale de l'arbre et non la longueur totale de la bille, ce qui inclut donc aussi le volume de la souche. Ce point n'est pas précisé dans le document disponible, pas plus que les limites réelles de l'échantillonnage. Une gamme de diamètres plus large, pour les hauteurs d'arbre supérieures à 19 m, pourrait aussi expliquer le décalage des courbes à ces niveaux.

### 3.2 Utilisation

L'importance des fonctions de forme et leurs différences en fonction des clones, des critères de croissance, des diamètres de découpe, de l'âge des plantations (RODA 2001), démontre bien la nécessité de s'appuyer sur des données locales pour augmenter l'applicabilité et la validité d'un tarif de cubage.

Ce tarif de cubage permet d'estimer le volume total et marchand de peupliers hybrides, avec ou sans l'écorce, ainsi que le volume de billes ou billons en fonction de la hauteur ou du diamètre de découpe au fin bout. Bâti à partir d'un échantillonnage de 853 tiges d'arbres de différents âges, de plusieurs plantations, de clones hybrides majoritairement du type interaméricain (D x B, D x T, T x B, T x D), il est général tout en étant adapté aux plantations actuelles faites dans les différentes régions et conditions environnementales rencontrées au Québec. Une vérification faite *a posteriori* avec des données plus récentes (non publiées) de plantations âgées de 15 ans situées dans l'est, le

centre, le sud et le nord-ouest du Québec nous a permis de vérifier la concordance des rapports  $H/dhp$  et, de ce fait, confirmer la représentativité de notre échantillonnage. Cependant, il est important de rester dans les limites de l'échantillonnage. Hors de ces limites, la validité du tarif de cubage n'est pas connue pour toutes les valeurs extrapolées de diamètres et hauteurs.

La justesse du tarif de cubage est conditionnelle à une valeur faible des biais. Ceux-ci sont donc importants à considérer. Les biais obtenus ici sont très faibles, autant pour la prévision du volume total (< 0,3 %) que pour celle des volumes à des hauteurs ou diamètres de découpe variables (< 1,8 %). Toutefois, pour les découpes à diamètres variables, les volumes de billes sont sous-estimés, surtout pour les plus gros arbres (dhp > 50 cm) et pour des découpes à un diamètre légèrement inférieur au dhp. Nous recommandons de limiter le diamètre de découpe à 38 cm (Annexes E et F). Pour les plus gros arbres, il est préférable d'utiliser le modèle à hauteurs variables. En fonction des dhp, pour des arbres plus commercialisables de diamètre compris entre 12 et 40 cm, le biais sur le volume total avec écorce varie de -1,5 à 2,6 %. Il y a une tendance à la sous-estimation pour les arbres de plus grand diamètre, mais le biais est toujours inférieur à 5 % en valeur absolue sur l'ensemble des classes de diamètre. Le faible biais observé, autant en fonction des dhp (Figure 4) que des 3 sites d'échantillonnage (Tableau 6), démontre la capacité de l'équation de bien estimer le volume total de tous les types d'hybrides représentés sur ces 3 sites. D'ailleurs, les mesures des plus gros arbres échantillonnés à Saint-Ours s'ajustent très bien au nuage des points utilisés pour étalonner l'équation. Le tarif s'applique donc sans problème pour l'ensemble des clones et sur la gamme des diamètres échantillonnés.

## Chapitre 4

### Application informatique POPIJCUB

Toutes les informations que l'on peut obtenir à partir de ce tarif de cubage se présentent sous la forme de multiples tables dont l'utilisation n'est pas des plus aisées. Il nous a semblé nécessaire de produire une version informatisée, beaucoup plus pratique et accessible, sous forme de cédérom livré avec cette publication ou sur demande et à partir d'un serveur ministériel. Cette application informatique nommée POPIJCUB, développée avec Microsoft Excel, est disponible pour téléchargement à l'adresse web [www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Menetrier-Jean/POPIJCUB1-0.xls](http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Menetrier-Jean/POPIJCUB1-0.xls), ou en format cédérom à ceux qui en feront la demande à [recherche.forestiere@mrn.gouv.qc.ca](mailto:recherche.forestiere@mrn.gouv.qc.ca).

POPIJCUB offre à l'utilisateur quatre outils de cubage du peuplier hybride, soit :

- 1- le cubage d'une tige;
- 2- le cubage d'une bille ou de billons en fonction des diamètres de découpe au fin bout ou de leur longueur;
- 3- le cubage de l'ensemble des tiges et la productivité d'une parcelle;
- 4- une application de tronçonnage qui permet de calculer les volumes de billons selon les modes de débitage les plus courants.

Les limites d'utilisation sont intégrées au fonctionnement. Des images des principales fenêtres de POPIJCUB sont présentées à l'annexe R.



## Conclusion

L'intérêt grandissant pour les plantations de peupliers hybrides rendait nécessaire un outil de cubage des arbres plus complet et plus récent, mais surtout disponible pour des arbres de dimensions supérieures à 20 m de hauteur et 30 cm de diamètre. Avec un échantillon de 853 arbres plantés dans une gamme d'environnements bioclimatiques, édaphiques et cultureux représentatifs d'une diversité de conditions favorables à la culture du peuplier hybride au Québec, nous avons développé un tarif de cubage fiable et précis pour des arbres atteignant 30 m de hauteur et 60 cm de diamètre. Ce tarif permet de calculer le volume total et le volume marchand (découpe à 9 cm) d'un arbre, avec ou sans écorce, ainsi que le volume de billons découpés à une hauteur ou un diamètre d'utilisation au fin bout variables. Des tables permettent aussi de déterminer comment et combien de billons de diverses longueurs standards un exploitant peut découper dans ses arbres, pour une livraison adaptée à son marché potentiel. Il pourra aussi en connaître les volumes par catégorie. La récolte de produits

ajustés à des exigences ou perspectives de marché est d'un intérêt économique évident pour un populteur. Éventuellement, si les écorces sont valorisables par un processus industriel quelconque, la connaissance de leur volume devient un élément à considérer. En complément, le logiciel POPIJCUB développé à partir de cette étude rend disponibles tous les résultats sous une forme numérique, ce qui permet d'évaluer facilement la productivité de ses plantations.

À plus long terme, ce tarif pourra facilement être actualisé et ajusté en fonction des données à récolter dans des plantations encore plus récentes et pour des clones issus des dernières générations d'amélioration génétique. Une plus grande spécificité de tarifs clonaux et régionaux, à deux et même trois entrées, de même que des tables de rendement conditionnelles aux systèmes de culture des peupliers hybrides, sont des instruments de connaissance complémentaires à développer dans l'avenir.



## Références bibliographiques

- BASKERVILLE, G.L., 1971. *Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass*. Can. J. For. Res. 2: 49-53.
- Bi, H., 1999. *Predicting stem volume to any height limit for native tree species in southern New South Wales and Victoria*. N. Z. J. For. Sci. 29: 318-331.
- Bi, H., 2000. *Trigonometric variable-form taper equations for Australian Eucalypts*. For. Sci. 46: 397-409.
- BONDUELLE, P., 1974. *Recherche d'un tarif de cubage pour le peuplier 'I-214' valable pour la France*. AFOCEL, rapport annuel 1974: 112-176.
- BOUVET, A. et A. BERTHELOT, 1994. *Taillis à courtes rotations de peuplier, tarifs masses et volumes*. Annales AFOCEL 1993/1994: 219-236.
- BOYSEN, B. et E. STROBL, 1991. *A grower's guide to Hybrid Poplar*. Ministère des ressources naturelles de l'Ontario. 148 p.
- COMITÉ DE RECHERCHE EN GÉNÉTIQUE FORESTIÈRE, 1971. *La populiculture au Québec, 1-Amélioration des peupliers, 2-Développement de la populiculture*. Gouvernement du Québec, Ministère des Terres et Forêts, Conseil de la recherche et du développement forestiers. Rapport N° 1, 56 p.
- DÉSALUNIERS, G., 1980. *Équation du défilement d'un tronçon : fondement du cubage des arbres en vue du débitage*. Gouvernement du Québec, Ministère de l'Énergie et des Ressources (Forêts), Service de la recherche, Québec. Mémoire de recherche forestière N° 69. 92 p. [[www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Divers/Memoire69.pdf](http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Divers/Memoire69.pdf)].
- DUAN, N., 1983. *Smearing estimate: a nonparametric retransformation method*. J. Am. Stat. Assoc., 78: 605-610.
- FLEWELLING, J.W. et L.V. PIENAAR, 1981. *Multiplicative regression with lognormal errors*. For. Sci. 27: 281-289.
- GREGOIRE, T.G., O. SCHABENBERGER et J.P. BARRETT, 1995. *Linear modelling of irregularly spaced, unbalanced, longitudinal data from permanent-plot measurements*. Can. J. For. Res. 25: 137-156.
- GRUPE DE CHERCHEURS SUR LE PEUPLIER, sous la direction de GILLES VALLÉE, 1972. *Recherche et développement sur le peuplier dans la région de l'Est-du-Québec. I – Présentation des projets*. Gouvernement du Québec, Ministère des Terres et Forêts, Service de la recherche, Mémoire N° 8, xvii + 113 p. [[www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Divers/Memoire008.pdf](http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Divers/Memoire008.pdf)].
- MÉNÉTRIER, J., 1992. *Mise au point de systèmes de culture intensive d'arbres (ligniculture) sur de courtes rotations*. Dans *Rapport d'activités 1991 du Service de l'amélioration des arbres*. Gouvernement du Québec, Ministère des Forêts, Direction de la recherche. Rapport interne N° 348, p. 60.
- MÉNÉTRIER, J. et G. VALLÉE, 1992. *Sélection d'espèces et de cultivars pour la production de biomasse*. Dans *Rapport d'activités 1991 du Service de l'amélioration des arbres*. Gouvernement du Québec, Ministère des Forêts, Direction de la recherche, Rapport interne N° 348, p. 8.
- MÉNÉTRIER, J., M. PERRON, G. DAoust et G. SIROIS, 2005. *Le boisement de friches*. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec et Ressources naturelles Canada. Notice d'information. Code de diffusion 2005-3021. 29 p. [[www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Menetrier-Jean/Foret-2020-Boisement-friche.pdf](http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Menetrier-Jean/Foret-2020-Boisement-friche.pdf)].
- MÉNÉTRIER, J., 2008. *Le peuplier hybride au Québec : une révolution, une évolution!* Le Naturaliste canadien. Volume 132, numéro 1 (Hiver 2008): 46-54. [[www.provancher.qc.ca/upload/file/132\\_1%20p%2046-54.pdf](http://www.provancher.qc.ca/upload/file/132_1%20p%2046-54.pdf)].
- PÉRINET, P., 1999. *L'amélioration génétique du peuplier 30 ans plus tard*. Dans : Actes du colloque « L'amélioration génétique en foresterie, où en sommes-nous? », Rivière-du-Loup, 28 au 30 sept. 1999. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Service canadien des forêts et Conseil de la recherche forestière du Québec, p. 107-115.

- POPOVICH, S., 1986. *Peuplier hybride - Les premières tables de coefficients de forme et de tarifs de cubage au Québec*. Service canadien des forêts, Centre de recherches forestières des Laurentides, Sainte-Foy (Québec). Rapport d'information LAU-X-71. 16 p.
- PRÉGENT, G., F. SAVARD et G. DÉSAULNIERS, 2001. *Tarif de cubage à diamètre et longueur variables d'utilisation pour le pin gris en plantation au Québec*. Gouvernement du Québec, Ministère des Ressources Naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière N° 139. 41 p. [[www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Pregent-Guy/Memoire139.pdf](http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Pregent-Guy/Memoire139.pdf)].
- PRÉGENT, G., G. PICHER et I. AUGER, 2010. *Tarif de cubage, tables de rendement et modèles de croissance pour les plantations d'épinette blanche au Québec*. Gouvernement du Québec, Ministère des Ressources Naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière N° 160. 73 p. [[www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Pregent-Guy/Memoire160.pdf](http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Pregent-Guy/Memoire160.pdf)].
- RÉGNIÈRE, J. et R. ST-AMANT, 2008. *BioSIM 9 - Manuel de l'utilisateur*. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Laurentides. Rapport d'information LAU-X-134F. 82 p. [<http://cfs.nrcan.gc.ca/pubwarehouse/pdfs/28769.pdf>].
- ROBITAILLE, A. et J.-P. SAUCIER, 1998. *Paysages régionaux du Québec méridional*. Ministère des Ressources naturelles, Direction des inventaires forestiers. Code de diffusion RN98-3034. Les publications du Québec, Québec. 220 p.
- RODA, J.-M., 1999. *Tarif de cubage peuplier*. AFOCEL, Domaine de l'Étançon, Nangis (France). 103 p.
- RODA, J.-M., 2001. *Form function for the 'I-214' poplar merchantable stem (Populus x euramericana (Dode) Guinier cv 'I-214')*. Ann. For. Sci. 58(1): 77- 87.
- RONDEUX, J., 1973. *La mesure des arbres et des peuplements forestiers*. Les presses Agronomiques de Gembloux, Gembloux (Belgique). 521 p.
- SAS INSTITUTE INC., 2004a. *SAS/ETS® 9.1 User's Guide*. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- SAS INSTITUTE INC., 2004b. *SAS/STAT® 9.1 User's Guide*. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- SAUCIER, J.-P., J.-F. BERGERON, P. GRONDIN et A. ROBITAILLE, 1998. *Les régions écologiques du Québec méridional (3<sup>e</sup> version) : un des éléments du système hiérarchique de classification écologique du territoire mis au point par le ministère des Ressources naturelles du Québec*. Supplément de l'Aubelle, N° 124, 12 p.
- UNG, C.-H. et S. VÉGIARD, 1988. *Problèmes d'inférence statistique reliés à la transformation logarithmique en régression*. Can. J. For. Res. 18: 733-738.
- VALLÉE, G., 1969a. *Programme général pour l'amélioration des arbres forestiers au Québec*. Gouvernement du Québec, Ministère des Terres et Forêts, Direction générale de la planification. 59 p.
- VALLÉE, G., 1969b. *Possibilités de la production ligneuse par la culture de l'arbre au Québec*. Gouvernement du Québec, Ministère des Terres et Forêts, Direction générale de la planification, Rapport interne N° 43. 9 p.
- VANCLAY, J.K. et J.P. SKOVSGAARD, 1997. *Evaluating forest growth models*. Ecol. Model. 98: 1-12.

# Annexes

## Annexe A. Répartition globale par espèces ou types d'hybrides des clones de peupliers échantillonnés

Répartition	Espèce ou type d'hybride	Nombre d'arbres
Section <i>Aigeiros</i>	D ( <i>P. deltoides</i> )	4
Section <i>Tacamahaca</i>	B ( <i>P. balsamifera</i> )	64
Hybrides euraméricains	DxN ( <i>P. nigra</i> )	56
	BxN	96
Hybrides interaméricains	DxB	416
	DxT ( <i>P. trichocarpa</i> )	115
	TxB	84
	TxD	17
Hybrides multiples	M ( <i>P. maximowiczii</i> )xB X MxT	1
Tous		853

Annexe B. Liste des clones, types d'hybrides et nombre d'arbres échantillonnés par site de plantation. Les types d'hybrides sont définis à l'annexe A

Clone	Type	Nombre d'arbres par site					Total
		Matane 1	Matane 2	Saint-Ours 1	Saint-Ours 2	Estcourt	
26	B	63					63
701	B			1			1
Sous-total		63		1			64
208	Bx?*	91					91
640	BxN			1			1
?*	?		4				4
Sous-total		91	4	1			96
2028	D			1			1
3116	D			1			1
3302	D			2			2
Sous-total				4			4
F14-1 (4825)	DxB		2				2
F14-2	DxB		2				2
F14-3	DxB		1				1
F14-4	DxB		1				1
F14-11 (4851)	DxB		1				1
F14-15 (4826)	DxB		1				1
F22-1	Dx?		1				1
F22-5	Dx?		1				1
F24-4	?		1				1
2	DxB	99	27				126
16	DxB	96					96
22	DxB	107	1				108
30	DxB	72					72
316	DxB			1			1
1080	DxB		1				1
4854	DxB		1				1
Sous-total		374	41	1			416
36	DxN			3		10	13
131	DxN			1	6		7
132	DxN			1	4		5
138	DxN			2			2
203	DxN			3			3
1132	DxN			2			2
3020	DxN			1			1
3282	DxN			2			2
3285	DxN			1			1
3288	DxN			3			3
3289	DxN			3			3
3291	DxN			1			1
3292	DxN			2			2
3307	DxN			3			3
3308	DxN			1			1
3313	DxN			1			1
3318	DxN			2			2

\* incertitude

## Annexe B. (suite et fin)

Clone	Type	Nombre d'arbres par site					Total
		Matane 1	Matane 2	Saint-Ours 1	Saint-Ours 2	Estcourt	
3320	DxN			1			1
3323	DxN			2			2
4057	DxN X ?*		1				1
Sous-total			1	35	10	10	56
201	DxT	105				5	110
3052	DxT		1				1
3054	DxT			2			2
3299	DxT			2			2
Sous-total		105	1	4		5	115
207	TxB?*	83		1			84
Sous-total		83		1			84
3027	TxD			1			1
3225	TxD			3	5		8
3226	TxD			1	3		4
3230	TxD			2	2		4
Sous-total				8	10		101
3193	MxBe† X MxT			1			1
Sous-total				1			1
Total		716	47	55	20	15	853

\* incertitude

† *P. x berlinensis*

Annexe C. Abaque de prédiction du volume total sans écorce (dm<sup>3</sup>) du peuplier hybride en fonction du dhp et de la hauteur totale (les nombres en italique représentent des estimations pour des combinaisons de dhp et de hauteur non représentées dans les données)

dhp (cm)	Hauteur totale (m)																													
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
1	0,18	0,25	0,32	0,40																										
2	0,5	0,7	1,0	1,2	1,4	1,7																								
3	1,0	1,4	1,8	2,2	2,7	3,1	3,6																							
4		2,2	2,8	3,5	4,2	4,9	5,7	6,4																						
5		3,1	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,1																						
6			5,4	6,6	7,9	9,3	10,7	12,1	13,7																					
7			6,8	8,4	10,1	11,8	13,6	15,4	17,4	19,4																				
8				10,4	12,4	14,5	16,7	19,0	21,4	24,0																				
9				12,5	15,0	17,5	20,1	22,9	25,8	28,8	32,0																			
10					17,6	20,6	23,7	27,0	30,4	34,0	37,7																			
11					20,5	24,0	27,6	31,3	35,3	39,4	43,8	48,3																		
12						27,4	31,6	35,9	40,4	45,2	50,2	55,4	60,8	66,6																
13						31,1	35,8	40,7	45,8	51,2	56,9	62,8	69,0	75,5																
14						34,9	40,2	45,7	51,5	57,5	63,8	70,5	77,4	84,7	92,4															
15							44,8	50,9	57,4	64,1	71,1	78,5	86,3	94,4	103															
16							49,6	56,4	63,5	70,9	78,7	86,9	95,4	104	114	124														
17								62,0	69,8	78,0	86,5	95,5	105	115	125	136	148	160												
18								67,8	76,3	85,3	94,6	104	115	126	137	149	161	175	189											
19									83,1	92,8	103	114	125	137	149	162	176	190	205											
20									90,0	101	112	123	135	148	162	176	190	206	222	240	258									
21									97,2	109	120	133	146	160	174	190	206	222	240	259	278	298								
22										117	130	143	157	172	188	204	221	239	258	278	299	321								
23										125	139	153	168	184	201	219	237	256	277	298	321	344								
24										134	148	164	180	197	215	234	253	274	296	319	343	368	394							
25										158	175	192	210	229	249	270	292	315	340	365	392	420	447							
26											186	204	223	244	265	287	311	335	361	388	417	447	474							
27											197	217	237	258	281	305	330	356	383	412	442	474	502							
28												229	251	274	297	323	349	377	406	436	468	502	530	568						
29												242	265	289	314	341	369	398	429	461	495	530	568	599						
30													279	305	331	359	389	419	452	486	522	559	599	630						
31														321	349	378	409	442	476	511	549	589	630	662						
32														337	367	398	430	464	500	538	577	619	662	695						
33														354	385	417	451	487	525	564	606	649	695	728						
34															437	473	510	550	591	635	680	728	762	815						
35																495	534	575	619	664	712	762	815	851						
36																517	558	601	646	694	744	796	851	889						
37																	583	628	675	724	777	831	889	927						
38																		607	654	704	755	810	867	927	965					
39																			681	733	787	843	903	965	1031					



Annexe D. Abaque de prédiction du volume total avec écorce (dm<sup>3</sup>) du peuplier hybride en fonction du dhp et de la hauteur totale (les nombres en italique représentent des estimations pour des combinaisons de dhp et de hauteur non représentées dans les données)

dhp (cm)	Hauteur totale (m)																																					
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30									
1	0,22	0,31	0,40	0,50																																		
2	0,6	0,9	1,2	1,5	1,7	2,0																																
3	1,2	1,7	2,2	2,7	3,3	3,8	4,4																															
4	2,6	3,4	4,2	5,1	5,9	6,9	7,8																															
5	3,7	4,8	6,0	7,2	8,4	9,7	11,0																															
6		6,4	7,9	9,5	11,1	12,8	14,6	16,5																														
7		8,1	10,0	12,0	14,1	16,2	18,5	20,9	23,4																													
8		12,3	14,8	17,3	20,0	22,7	25,7	28,7																														
9		14,8	17,7	20,8	23,9	27,3	30,8	34,4	38,3																													
10			20,8	24,4	28,2	32,1	36,2	40,5	45,1																													
11			24,1	28,3	32,6	37,1	41,9	46,9	52,2	57,8																												
12				32,3	37,3	42,5	47,9	53,7	59,7	66,1	72,8	79,9																										
13					36,6	42,2	48,1	54,2	60,7	67,5	74,7	82,3	90,3																									
14						41,0	47,3	53,9	60,8	68,1	75,7	83,8	92,3	101	111																							
15							52,6	59,9	67,6	75,7	84,2	93,2	103	113	123																							
16								58,1	66,2	74,7	83,6	93,0	103	113	124	136	148																					
17									72,7	82,0	91,8	102	113	124	137	149	163	177	192																			
18										79,4	89,5	100	112	123	136	149	163	178	193	210	227																	
19											97,3	109	121	134	148	162	177	193	210	228	247																	
20												105	118	131	145	160	175	192	209	227	247	267	288	311														
21													114	127	141	157	172	189	207	226	245	266	288	311	335	361												
22														137	152	168	185	203	222	242	263	286	309	334	360	388												
23															146	163	180	198	218	238	259	282	306	331	358	386	415											
24																156	174	192	212	232	254	277	301	327	354	382	412	443	477									
25																	185	205	226	248	271	295	321	348	377	407	439	472	508									
26																		218	240	263	288	313	341	370	400	432	466	502	539									
27																			231	254	279	305	332	361	392	424	458	494	532	572								
28																				269	295	322	351	382	414	448	484	522	562	605								
29																					284	311	340	371	403	437	473	511	551	594	638							
30																						328	358	391	425	461	499	539	581	626	672							
31																							377	411	447	485	525	567	611	658	707	759						
32																								396	432	469	509	551	595	642	691	743	797					
33																									415	453	492	534	578	624	673	724	779	836				
34																										515	559	605	653	705	759	816	876					
35																											584	633	683	737	793	853	916	982				
36																												610	661	714	770	828	891	956	1025			
37																													689	744	803	864	929	997	1070			
38																														718	776	836	900	968	1039	1114	1194	
39																															807	871	937	1008	1082	1160	1242	



Annexe E. Abaque de prédiction de la proportion du volume total sans écorce du peuplier hybride en fonction du dhp et du diamètre minimal d'utilisation au fin bout

dhp (cm)	Diamètre minimal d'utilisation (cm)																																											
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38															
11	0,481																																											
12	0,587	0,463																																										
13	0,666	0,565	0,447																																									
14	0,725	0,642	0,545	0,432																																								
15	0,770	0,701	0,620	0,526	0,417																																							
16	0,806	0,747	0,679	0,599	0,508	0,404																																						
17	0,834	0,784	0,726	0,658	0,580	0,491	0,391																																					
18	0,857	0,814	0,764	0,705	0,638	0,561	0,475	0,379																																				
19	0,876	0,839	0,795	0,744	0,685	0,619	0,544	0,460	0,367																																			
20	0,892	0,859	0,820	0,775	0,724	0,666	0,600	0,527	0,446	0,356																																		
21	0,905	0,876	0,842	0,802	0,757	0,706	0,648	0,583	0,511	0,432	0,345																																	
22	0,916	0,890	0,860	0,825	0,784	0,739	0,687	0,630	0,566	0,496	0,419	0,334																																
23	0,925	0,902	0,875	0,844	0,808	0,767	0,721	0,670	0,613	0,550	0,481	0,406	0,323																															
24	0,933	0,912	0,888	0,860	0,828	0,791	0,750	0,704	0,653	0,597	0,535	0,467	0,393	0,313																														
25	0,940	0,921	0,899	0,874	0,845	0,812	0,775	0,734	0,688	0,637	0,581	0,520	0,453	0,381	0,303																													
26	0,946	0,929	0,909	0,886	0,860	0,830	0,797	0,759	0,717	0,671	0,621	0,566	0,506	0,440	0,369	0,293																												
27	0,951	0,936	0,918	0,897	0,873	0,846	0,815	0,781	0,743	0,702	0,656	0,606	0,551	0,492	0,427	0,358	0,284																											
28	0,955	0,941	0,925	0,906	0,884	0,860	0,832	0,801	0,766	0,728	0,686	0,640	0,591	0,536	0,478	0,415	0,347	0,274																										
29	0,959	0,947	0,932	0,914	0,894	0,872	0,846	0,818	0,786	0,751	0,713	0,671	0,625	0,576	0,522	0,465	0,402	0,336	0,265																									
30	0,963	0,951	0,937	0,921	0,903	0,882	0,859	0,833	0,804	0,772	0,737	0,698	0,656	0,611	0,562	0,509	0,452	0,391	0,325	0,255																								
31	0,966	0,955	0,943	0,928	0,911	0,892	0,870	0,846	0,820	0,790	0,758	0,722	0,684	0,642	0,597	0,548	0,495	0,439	0,379	0,315	0,246																							
32	0,969	0,959	0,947	0,934	0,918	0,900	0,880	0,858	0,834	0,806	0,776	0,744	0,708	0,669	0,628	0,583	0,534	0,482	0,427	0,367	0,304	0,237																						
33	0,971	0,962	0,951	0,939	0,924	0,908	0,890	0,869	0,846	0,821	0,793	0,763	0,730	0,694	0,655	0,614	0,569	0,521	0,469	0,414	0,356	0,294	0,228																					
34	0,974	0,965	0,955	0,943	0,930	0,915	0,898	0,879	0,857	0,834	0,808	0,780	0,750	0,716	0,680	0,642	0,600	0,555	0,508	0,457	0,403	0,345	0,284	0,219																				
35	0,976	0,968	0,958	0,947	0,935	0,921	0,905	0,887	0,868	0,846	0,822	0,796	0,767	0,736	0,703	0,667	0,628	0,587	0,542	0,495	0,445	0,391	0,334	0,274	0,210																			
36	0,977	0,970	0,961	0,951	0,940	0,926	0,912	0,895	0,877	0,856	0,834	0,810	0,783	0,754	0,723	0,690	0,654	0,615	0,574	0,529	0,482	0,432	0,379	0,323	0,264	0,202																		
37	0,979	0,972	0,964	0,955	0,944	0,931	0,918	0,902	0,885	0,866	0,845	0,822	0,798	0,771	0,742	0,710	0,677	0,640	0,602	0,561	0,517	0,470	0,421	0,368	0,313	0,254	0,193																	
38	0,980	0,974	0,966	0,958	0,947	0,936	0,923	0,909	0,893	0,875	0,855	0,834	0,811	0,786	0,758	0,729	0,697	0,664	0,628	0,589	0,548	0,504	0,458	0,409	0,357	0,302	0,245	0,184																
39	0,982	0,976	0,969	0,960	0,951	0,940	0,928	0,914	0,899	0,883	0,865	0,845	0,823	0,799	0,774	0,746	0,717	0,685	0,651	0,615	0,576	0,535	0,492	0,446	0,397	0,346	0,292	0,235	0,176															
40	0,983	0,977	0,971	0,963	0,954	0,944	0,933	0,920	0,906	0,890	0,873	0,854	0,834	0,812	0,788	0,762	0,734	0,704	0,672	0,638	0,602	0,564	0,523	0,480	0,434	0,386	0,335	0,282	0,226															
41	0,984	0,979	0,973	0,965	0,957	0,947	0,937	0,925	0,911	0,897	0,881	0,863	0,844	0,823	0,800	0,776	0,750	0,722	0,692	0,660	0,626	0,590	0,551	0,511	0,468	0,423	0,375	0,325	0,272															
42	0,985	0,980	0,974	0,967	0,960	0,951	0,941	0,929	0,917	0,903	0,888	0,871	0,853	0,833	0,812	0,789	0,764	0,738	0,710	0,680	0,648	0,614	0,577	0,539	0,499	0,456	0,411	0,364	0,314															

43	0,986	0,981	0,976	0,969	0,962	0,954	0,944	0,933	0,922	0,908	0,894	0,878	0,861	0,843	0,823	0,801	0,778	0,753	0,726	0,698	0,668	0,635	0,601	0,565	0,527	0,487	0,445	0,400	0,353		
44	0,987	0,983	0,977	0,971	0,964	0,956	0,947	0,937	0,926	0,914	0,900	0,885	0,869	0,852	0,833	0,812	0,790	0,767	0,742	0,715	0,686	0,656	0,623	0,589	0,553	0,515	0,475	0,433	0,389		
45	0,988	0,984	0,979	0,973	0,966	0,959	0,950	0,941	0,930	0,918	0,906	0,892	0,876	0,860	0,842	0,822	0,802	0,779	0,756	0,730	0,703	0,674	0,644	0,612	0,577	0,541	0,504	0,464	0,422		
46	0,989	0,985	0,980	0,974	0,968	0,961	0,953	0,944	0,934	0,923	0,911	0,897	0,883	0,867	0,850	0,832	0,812	0,791	0,769	0,744	0,719	0,692	0,663	0,632	0,600	0,566	0,530	0,492	0,452		
47	0,989	0,985	0,981	0,976	0,970	0,963	0,956	0,947	0,937	0,927	0,915	0,903	0,889	0,874	0,858	0,841	0,822	0,802	0,781	0,758	0,733	0,708	0,680	0,651	0,620	0,588	0,554	0,518	0,481		
48	0,990	0,986	0,982	0,977	0,972	0,965	0,958	0,950	0,941	0,931	0,920	0,908	0,895	0,881	0,865	0,849	0,831	0,812	0,792	0,770	0,747	0,722	0,696	0,669	0,640	0,609	0,577	0,543	0,507		
49	0,990	0,987	0,983	0,978	0,973	0,967	0,960	0,952	0,944	0,934	0,924	0,913	0,900	0,887	0,872	0,856	0,840	0,821	0,802	0,781	0,759	0,736	0,711	0,685	0,658	0,628	0,598	0,565	0,531		
50	0,991	0,988	0,984	0,980	0,974	0,969	0,962	0,955	0,947	0,938	0,928	0,917	0,905	0,892	0,878	0,863	0,847	0,830	0,812	0,792	0,771	0,749	0,725	0,700	0,674	0,646	0,617	0,586	0,554		
51	0,991	0,988	0,985	0,981	0,976	0,970	0,964	0,957	0,949	0,941	0,931	0,921	0,910	0,897	0,884	0,870	0,855	0,838	0,821	0,802	0,782	0,761	0,738	0,715	0,690	0,663	0,635	0,606	0,575		
52	0,992	0,989	0,986	0,982	0,977	0,972	0,966	0,959	0,952	0,944	0,935	0,925	0,914	0,902	0,890	0,876	0,862	0,846	0,829	0,811	0,792	0,772	0,751	0,728	0,704	0,679	0,652	0,624	0,595		
53	0,992	0,990	0,986	0,983	0,978	0,973	0,967	0,961	0,954	0,946	0,938	0,928	0,918	0,907	0,895	0,882	0,868	0,853	0,837	0,820	0,802	0,783	0,762	0,740	0,718	0,693	0,668	0,641	0,613		
54	0,993	0,990	0,987	0,983	0,979	0,974	0,969	0,963	0,956	0,949	0,941	0,932	0,922	0,911	0,900	0,887	0,874	0,860	0,844	0,828	0,811	0,792	0,773	0,752	0,730	0,707	0,683	0,657	0,630		
55	0,993	0,991	0,988	0,984	0,980	0,976	0,970	0,965	0,958	0,951	0,943	0,935	0,925	0,915	0,904	0,892	0,880	0,866	0,851	0,836	0,819	0,801	0,783	0,763	0,742	0,720	0,697	0,672	0,647		
56	0,993	0,991	0,988	0,985	0,981	0,977	0,972	0,966	0,960	0,953	0,946	0,938	0,929	0,919	0,908	0,897	0,885	0,872	0,858	0,843	0,827	0,810	0,792	0,773	0,753	0,732	0,710	0,686	0,662		
57	0,994	0,992	0,989	0,986	0,982	0,978	0,973	0,968	0,962	0,955	0,948	0,940	0,932	0,922	0,912	0,901	0,890	0,877	0,864	0,850	0,834	0,818	0,801	0,783	0,764	0,743	0,722	0,700	0,676		
58	0,994	0,992	0,989	0,986	0,983	0,979	0,974	0,969	0,964	0,957	0,950	0,943	0,935	0,926	0,916	0,906	0,894	0,882	0,870	0,856	0,841	0,826	0,809	0,792	0,774	0,754	0,734	0,712	0,690		
59	0,994	0,992	0,990	0,987	0,984	0,980	0,975	0,971	0,965	0,959	0,953	0,945	0,937	0,929	0,920	0,910	0,899	0,887	0,875	0,862	0,848	0,833	0,817	0,800	0,783	0,764	0,745	0,724	0,702		
60	0,995	0,993	0,990	0,988	0,984	0,981	0,977	0,972	0,967	0,961	0,955	0,948	0,940	0,932	0,923	0,913	0,903	0,892	0,880	0,867	0,854	0,840	0,825	0,809	0,792	0,774	0,755	0,735	0,714		
dhp (cm)	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38		
	Diamètre minimal d'utilisation (cm)																														

Annexe E. (suite et fin)



45	0,988	0,984	0,979	0,973	0,966	0,959	0,950	0,941	0,931	0,919	0,906	0,892	0,877	0,861	0,843	0,824	0,803	0,781	0,758	0,733	0,706	0,677	0,647	0,615	0,581	0,546	0,508	0,469	0,427		
46	0,988	0,985	0,980	0,974	0,968	0,961	0,953	0,944	0,934	0,923	0,911	0,898	0,884	0,868	0,851	0,833	0,814	0,793	0,771	0,747	0,721	0,694	0,666	0,636	0,604	0,570	0,534	0,497	0,458		
47	0,989	0,985	0,981	0,976	0,970	0,963	0,956	0,947	0,938	0,927	0,916	0,904	0,890	0,875	0,859	0,842	0,824	0,804	0,783	0,760	0,736	0,710	0,683	0,654	0,624	0,592	0,558	0,523	0,486		
48	0,990	0,986	0,982	0,977	0,972	0,965	0,958	0,950	0,941	0,931	0,920	0,909	0,896	0,882	0,866	0,850	0,833	0,814	0,794	0,772	0,749	0,725	0,699	0,672	0,643	0,613	0,581	0,547	0,512		
49	0,990	0,987	0,983	0,978	0,973	0,967	0,960	0,953	0,944	0,935	0,924	0,913	0,901	0,888	0,873	0,858	0,841	0,823	0,804	0,783	0,762	0,739	0,714	0,688	0,661	0,632	0,601	0,569	0,536		
50	0,991	0,988	0,984	0,980	0,975	0,969	0,962	0,955	0,947	0,938	0,928	0,917	0,906	0,893	0,879	0,865	0,849	0,832	0,813	0,794	0,773	0,751	0,728	0,703	0,677	0,650	0,621	0,590	0,558		
51	0,991	0,988	0,985	0,981	0,976	0,970	0,964	0,957	0,950	0,941	0,932	0,922	0,910	0,898	0,885	0,871	0,856	0,840	0,822	0,804	0,784	0,763	0,741	0,718	0,693	0,666	0,639	0,610	0,579		
52	0,992	0,989	0,986	0,982	0,977	0,972	0,966	0,959	0,952	0,944	0,935	0,925	0,915	0,903	0,891	0,877	0,863	0,847	0,831	0,813	0,794	0,774	0,753	0,731	0,707	0,682	0,656	0,628	0,599		
53	0,992	0,990	0,986	0,983	0,978	0,973	0,968	0,961	0,954	0,947	0,938	0,929	0,919	0,908	0,896	0,883	0,869	0,854	0,839	0,822	0,804	0,785	0,764	0,743	0,720	0,697	0,671	0,645	0,617		
54	0,993	0,990	0,987	0,983	0,979	0,974	0,969	0,963	0,956	0,949	0,941	0,932	0,922	0,912	0,900	0,888	0,875	0,861	0,846	0,830	0,813	0,794	0,775	0,755	0,733	0,710	0,686	0,661	0,634		
55	0,993	0,991	0,988	0,984	0,980	0,976	0,971	0,965	0,958	0,951	0,944	0,935	0,926	0,916	0,905	0,893	0,881	0,867	0,853	0,837	0,821	0,803	0,785	0,765	0,745	0,723	0,700	0,676	0,650		
56	0,993	0,991	0,988	0,985	0,981	0,977	0,972	0,966	0,960	0,954	0,946	0,938	0,929	0,920	0,909	0,898	0,886	0,873	0,859	0,844	0,829	0,812	0,794	0,776	0,756	0,735	0,713	0,690	0,665		
57	0,994	0,991	0,989	0,986	0,982	0,978	0,973	0,968	0,962	0,956	0,948	0,941	0,932	0,923	0,913	0,902	0,891	0,878	0,865	0,851	0,836	0,820	0,803	0,785	0,766	0,746	0,725	0,703	0,680		
58	0,994	0,992	0,989	0,986	0,983	0,979	0,974	0,969	0,964	0,958	0,951	0,943	0,935	0,926	0,917	0,906	0,895	0,883	0,871	0,857	0,843	0,827	0,811	0,794	0,776	0,757	0,736	0,715	0,693		
59	0,994	0,992	0,990	0,987	0,984	0,980	0,975	0,971	0,965	0,959	0,953	0,946	0,938	0,929	0,920	0,910	0,900	0,888	0,876	0,863	0,849	0,835	0,819	0,802	0,785	0,767	0,747	0,727	0,705		
60	0,995	0,993	0,990	0,988	0,984	0,981	0,977	0,972	0,967	0,961	0,955	0,948	0,940	0,932	0,923	0,914	0,904	0,893	0,881	0,869	0,855	0,841	0,826	0,810	0,794	0,776	0,757	0,738	0,717		
dhp	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38		
(cm)	Diamètre minimal d'utilisation (cm)																														

Annexe F. (suite et fin)

Annexe G. Abaque de prédiction du volume marchand sans écorce (dm<sup>3</sup>) du peuplier hybride en fonction du dhp et de la hauteur totale (les nombres en italique représentent des estimations pour des combinaisons de dhp et de hauteur non représentées dans les données)

dhp (cm)	Hauteur totale (m)																													
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30					
10	8,8	10,3	11,9	13,5	15,2	17,0	18,9																							
11	12,5	14,7	16,9	19,2	21,6	24,1	26,8	29,6																						
12		19,0	21,8	24,8	28,0	31,2	34,7	38,3	42,1	46,0																				
13		23,3	26,9	30,5	34,4	38,4	42,6	47,1	51,7	56,6																				
14		27,8	31,9	36,3	40,9	45,7	50,7	56,0	61,5	67,3	73,4																			
15			37,1	42,2	47,5	53,1	58,9	65,0	71,5	78,2	85,3																			
16			42,4	48,2	54,3	60,6	67,3	74,3	81,6	89,3	97,4	106																		
17				54,3	61,2	68,3	75,8	83,7	92,0	101	110	119	129	140																
18				60,6	68,2	76,2	84,6	93,4	103	112	122	133	144	156	168															
19					75,4	84,2	93,5	103	113	124	135	147	160	173	186															
20					82,8	92,5	103	113	124	136	149	162	175	189	204	220	237													
21					90,3	101	112	124	136	149	162	176	191	207	223	240	258	277												
22						109	121	134	147	161	176	191	207	224	242	261	280	301												
23						118	131	145	159	174	190	206	224	242	261	282	303	325												
24						127	141	156	171	187	204	222	241	260	281	303	326	350	375											
25							151	167	183	201	219	238	258	279	301	325	349	375	402											
26								178	196	214	234	254	276	298	322	347	373	400	429											
27								190	209	228	249	271	294	318	343	369	397	426	457											
28									222	243	265	288	312	337	364	392	422	453	485											
29									235	257	280	305	331	358	386	416	447	480	514	551										
30									272	297	322	350	378	408	440	473	507	544	582											
31										313	340	369	399	431	464	499	535	574	614											
32										330	358	388	420	454	489	525	564	605	647											
33										346	377	408	442	477	514	552	593	636	680											
34											429	464	500	539	580	622	667	714												
35												486	524	565	608	652	699	748	800											
36													509	549	591	636	683	732	783	837										
37														574	618	664	713	765	819	875										
38															599	645	694	745	798	854	914	976								
39																672	723	776	832	891	952	1017								
40																	700	753	808	867	928	992	1059							
41																		729	783	841	901	965	1032	1102	1175					
42																			814	874	937	1003	1072	1145	1222					
43																				907	973	1041	1113	1189	1268					



Annexe H. Abaque de prédiction du volume marchand avec écorce (dm<sup>3</sup>) du peuplier hybride en fonction du dhp et de la hauteur totale (les nombres en italique représentent des estimations pour des combinaisons de dhp et de hauteur non représentées dans les données)

dhp (cm)	Hauteur totale (m)																													
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30					
10	10,5	12,3	14,2	16,1	18,2	20,4	22,7																							
11	14,8	17,4	20,0	22,8	25,7	28,8	32,0	35,5																						
12		22,4	25,8	29,4	33,2	37,2	41,4	45,8	50,4	55,3																				
13		27,5	31,7	36,1	40,7	45,6	50,7	56,2	61,9	67,9																				
14		32,6	37,6	42,8	48,3	54,1	60,2	66,6	73,4	80,5	88,1																			
15			43,6	49,7	56,1	62,8	69,8	77,3	85,1	93,4	102																			
16			49,7	56,6	63,9	71,6	79,6	88,1	97,0	106	116	127																		
17				63,7	71,9	80,5	89,6	99,1	109	120	131	143	155	168																
18				71,0	80,1	89,7	100	110	122	133	146	159	173	187	203															
19					88,4	99,0	110	122	134	147	161	176	191	207	224															
20					96,9	108	121	134	147	161	176	192	209	227	246	265	286													
21					106	118	131	145	160	176	192	210	228	247	268	289	312	336												
22					128	142	158	174	191	208	227	247	268	290	313	338	364	392	421	453										
23					138	154	170	187	206	225	245	266	289	313	338	364	392	421	453											
24					148	165	183	201	221	242	263	286	311	336	363	391	421	451	485											
25					177	196	216	237	259	282	307	327	355	384	415	447	482	518												
26					209	230	252	276	301	327	358	384	415	447	482	518														
27					222	245	269	294	320	348	378	409	441	476	513	551														
28					260	285	312	340	369	401	434	469	505	544	585															
29					275	302	330	360	391	424	459	496	535	576	619	665														
30					319	349	380	413	448	485	524	565	608	654	702															
31						368	401	436	473	512	553	596	642	690	740															
32						387	422	459	497	538	582	627	675	726	779															
33						406	443	482	523	566	611	659	709	762	819															
34								505	548	593	641	691	744	800	859															
35									574	621	671	724	779	838	899	964														
36									600	650	702	757	815	876	940	1008														
37										679	733	790	851	915	982	1053														
38										708	765	824	888	954	1025	1099	1177													
39											797	859	925	994	1067	1145	1226													
40											829	894	963	1035	1111	1191	1276													
41											862	929	1001	1076	1155	1239	1327	1419												
42												965	1039	1117	1200	1286	1378	1474												
43													1079	1159	1245	1335	1430	1530												



Annexe I. Abaque de prédiction de la proportion du volume total sans écorce du peuplier hybride en fonction de la hauteur totale et de la longueur de bille

Hauteur (m)	Longueur de bille (m)																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
7	0,436	0,685	0,845	0,938	0,983	0,997																								
8	0,390	0,629	0,791	0,897	0,959	0,988	0,998																							
9	0,352	0,580	0,742	0,855	0,928	0,971	0,991	0,998																						
10	0,321	0,537	0,696	0,813	0,895	0,948	0,979	0,993	0,998																					
11	0,294	0,500	0,656	0,773	0,860	0,921	0,961	0,984	0,995	0,998																				
12	0,271	0,467	0,619	0,736	0,827	0,893	0,940	0,970	0,987	0,996	0,999																			
13	0,252	0,438	0,586	0,702	0,794	0,864	0,916	0,953	0,976	0,990	0,996	0,999																		
14	0,234	0,412	0,555	0,670	0,763	0,836	0,892	0,933	0,962	0,981	0,992	0,997	0,999																	
15	0,219	0,389	0,528	0,641	0,733	0,808	0,867	0,912	0,946	0,969	0,984	0,993	0,997	0,999																
16	0,205	0,368	0,503	0,614	0,706	0,781	0,843	0,891	0,928	0,955	0,974	0,987	0,994	0,997	0,999															
17	0,192	0,349	0,480	0,589	0,680	0,756	0,818	0,869	0,909	0,940	0,963	0,979	0,989	0,995	0,998	0,999														
18	0,181	0,332	0,459	0,565	0,655	0,731	0,795	0,848	0,890	0,924	0,950	0,969	0,982	0,990	0,995	0,998	0,999													
19	0,171	0,316	0,439	0,543	0,632	0,708	0,772	0,826	0,871	0,907	0,936	0,957	0,973	0,984	0,992	0,996	0,998	0,999												
20	0,162	0,302	0,421	0,523	0,611	0,686	0,751	0,806	0,852	0,890	0,921	0,945	0,963	0,977	0,987	0,993	0,996	0,998	0,999											
21	0,153	0,289	0,404	0,504	0,591	0,665	0,730	0,785	0,833	0,872	0,905	0,931	0,952	0,968	0,980	0,988	0,993	0,997	0,998	0,999										
22	0,145	0,276	0,389	0,486	0,571	0,645	0,710	0,766	0,814	0,855	0,889	0,918	0,941	0,959	0,972	0,983	0,990	0,994	0,997	0,998	0,999									
23	0,138	0,265	0,374	0,470	0,553	0,627	0,691	0,747	0,796	0,838	0,873	0,903	0,928	0,948	0,964	0,976	0,985	0,991	0,995	0,997	0,998	0,999								
24	0,131	0,255	0,361	0,454	0,536	0,609	0,672	0,729	0,778	0,821	0,858	0,889	0,915	0,937	0,954	0,968	0,979	0,986	0,992	0,995	0,997	0,998	0,999							
25	0,125	0,245	0,348	0,439	0,520	0,592	0,655	0,711	0,761	0,804	0,842	0,874	0,902	0,925	0,944	0,960	0,972	0,981	0,988	0,993	0,996	0,997	0,998	0,999						
26	0,119	0,236	0,336	0,426	0,505	0,576	0,638	0,694	0,744	0,788	0,826	0,860	0,889	0,913	0,934	0,950	0,964	0,975	0,983	0,989	0,993	0,996	0,998	0,999	0,999					
27	0,114	0,227	0,325	0,413	0,491	0,560	0,623	0,678	0,728	0,772	0,811	0,845	0,875	0,901	0,922	0,941	0,956	0,968	0,977	0,985	0,990	0,994	0,996	0,998	0,999	0,999				
28	0,108	0,219	0,315	0,400	0,477	0,546	0,607	0,663	0,712	0,757	0,796	0,831	0,862	0,888	0,911	0,931	0,947	0,960	0,971	0,980	0,986	0,991	0,994	0,997	0,998	0,999	0,999			
29	0,104	0,211	0,305	0,388	0,464	0,532	0,593	0,648	0,697	0,742	0,781	0,817	0,848	0,876	0,900	0,920	0,938	0,952	0,964	0,974	0,982	0,987	0,992	0,995	0,997	0,998	0,999	0,999		
30	0,099	0,204	0,295	0,377	0,452	0,518	0,579	0,633	0,682	0,727	0,767	0,803	0,835	0,863	0,888	0,910	0,928	0,944	0,957	0,968	0,976	0,983	0,989	0,992	0,995	0,997	0,998	0,999	0,999	

Annexe J. Abaque de prédiction de la proportion du volume total avec écorce du peuplier hybride en fonction de la hauteur totale et de la longueur de bille

Hauteur (m)	Longueur de bille (m)																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	
7	0,440	0,688	0,847	0,938	0,983	0,997																								
8	0,394	0,632	0,793	0,898	0,959	0,988	0,998																							
9	0,356	0,584	0,744	0,856	0,929	0,971	0,991	0,998																						
10	0,325	0,541	0,699	0,815	0,895	0,948	0,978	0,993	0,999																					
11	0,298	0,504	0,659	0,775	0,862	0,922	0,961	0,983	0,995	0,999																				
12	0,275	0,472	0,622	0,739	0,828	0,894	0,940	0,970	0,987	0,996	0,999																			
13	0,255	0,442	0,589	0,705	0,796	0,865	0,917	0,953	0,976	0,989	0,996	0,999																		
14	0,237	0,417	0,559	0,673	0,765	0,837	0,893	0,933	0,962	0,980	0,991	0,997	0,999																	
15	0,222	0,393	0,532	0,644	0,736	0,810	0,868	0,913	0,946	0,969	0,984	0,993	0,997	0,999																
16	0,208	0,372	0,507	0,617	0,708	0,783	0,844	0,892	0,928	0,955	0,974	0,986	0,994	0,998	0,999															
17	0,195	0,353	0,484	0,593	0,683	0,758	0,820	0,870	0,910	0,940	0,963	0,978	0,989	0,995	0,998	0,999														
18	0,184	0,336	0,463	0,569	0,658	0,734	0,797	0,849	0,891	0,924	0,950	0,968	0,982	0,990	0,995	0,998	0,999													
19	0,173	0,320	0,443	0,548	0,636	0,711	0,774	0,828	0,872	0,908	0,936	0,957	0,973	0,984	0,991	0,996	0,998	1,000												
20	0,164	0,306	0,425	0,527	0,614	0,689	0,753	0,807	0,853	0,890	0,921	0,945	0,963	0,977	0,986	0,992	0,996	0,998	1,000											
21	0,155	0,292	0,408	0,509	0,594	0,668	0,732	0,787	0,834	0,873	0,906	0,932	0,952	0,968	0,980	0,988	0,993	0,997	0,998	1,000										
22	0,147	0,280	0,393	0,491	0,575	0,649	0,712	0,768	0,816	0,856	0,890	0,918	0,941	0,958	0,972	0,982	0,989	0,994	0,997	0,999	1,000									
23	0,140	0,268	0,378	0,474	0,558	0,630	0,694	0,749	0,797	0,839	0,874	0,904	0,928	0,948	0,964	0,975	0,984	0,990	0,995	0,997	0,999	1,000								
24	0,133	0,258	0,365	0,459	0,541	0,612	0,676	0,731	0,780	0,822	0,859	0,890	0,916	0,937	0,954	0,968	0,978	0,986	0,991	0,995	0,997	0,999	1,000							
25	0,126	0,248	0,352	0,444	0,525	0,596	0,658	0,714	0,763	0,806	0,843	0,875	0,902	0,925	0,944	0,959	0,971	0,981	0,987	0,992	0,996	0,998	0,999	1,000						
26	0,121	0,239	0,340	0,430	0,509	0,580	0,642	0,697	0,746	0,790	0,828	0,861	0,889	0,913	0,934	0,950	0,964	0,974	0,983	0,989	0,993	0,996	0,998	0,999	1,000					
27	0,115	0,230	0,329	0,417	0,495	0,564	0,626	0,681	0,730	0,774	0,813	0,847	0,876	0,901	0,923	0,941	0,956	0,968	0,977	0,984	0,990	0,994	0,996	0,998	0,999	1,000				
28	0,110	0,222	0,318	0,404	0,481	0,550	0,611	0,666	0,715	0,759	0,798	0,832	0,863	0,889	0,912	0,931	0,947	0,960	0,971	0,979	0,986	0,991	0,994	0,997	0,998	0,999	1,000			
29	0,105	0,214	0,308	0,393	0,468	0,536	0,597	0,651	0,700	0,744	0,783	0,818	0,849	0,877	0,900	0,921	0,938	0,952	0,964	0,974	0,981	0,987	0,991	0,995	0,997	0,998	0,999	1,000		
30	0,100	0,207	0,299	0,382	0,456	0,523	0,583	0,637	0,685	0,730	0,769	0,805	0,836	0,864	0,889	0,910	0,928	0,944	0,957	0,967	0,976	0,983	0,988	0,992	0,995	0,997	0,998	0,999	1,000	

Annexe K. Nombre de billons de peuplier hybride de 4, 8, 12 ou 16 pieds avec au moins 9 cm de diamètre au fin bout, en fonction du dhp et de la hauteur totale, dans une tige ayant au moins 9 cm de diamètre à 8 pieds de hauteur, en ajoutant 4 pouces à chaque billon. Chaque chiffre représente le nombre de billons que l'on peut découper dans une tige, dans l'ordre des quatre choix de découpe possibles. Les cellules en grisé correspondent à l'exemple cité à la page 15

dhp (cm)	Hauteur totale (m)											
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
11				2 1 0 0	2 1 0 0	2 1 0 0						
12		2 1 0 0	2 1 0 0	2 1 0 0	2 1 0 0	2 1 1 0	3 1 1 0	3 1 1 0				
13	2 1 0 0	2 1 0 0	2 1 0 0	2 1 1 0	3 1 1 0	3 1 1 0	3 1 1 0	3 2 1 1				
14	2 1 0 0	2 1 0 0	2 1 1 0	3 1 1 0	3 1 1 0	4 2 1 1	4 2 1 1	4 2 1 1	4 2 1 1			
15	2 1 0 0	2 1 0 0	3 1 1 0	3 1 1 0	3 1 1 1	4 2 1 1	4 2 1 1	4 2 1 1	5 2 1 1			
16	2 1 0 0	3 1 1 0	3 1 1 0	3 1 1 0	4 2 1 1	4 2 1 1	4 2 1 1	5 2 1 1	5 2 1 1	5 3 2 1		
17		3 1 1 0	3 1 1 0	3 2 1 1	4 2 1 1	4 2 1 1	5 2 1 1	5 2 1 1	5 3 2 1	6 3 2 1	6 3 2 1	6 3 2 1
18		3 1 1 0	3 1 1 1	4 2 1 1	4 2 1 1	4 2 1 1	5 2 1 1	5 2 2 1	6 3 2 1	6 3 2 1	6 3 2 1	7 3 2 1
19			3 2 1 1	4 2 1 1	4 2 1 1	5 2 1 1	5 2 1 1	5 3 2 1	6 3 2 1	6 3 2 1	7 3 2 1	7 3 2 2
20			4 2 1 1	4 2 1 1	4 2 1 1	5 2 1 1	5 3 2 1	6 3 2 1	6 3 2 1	7 3 2 1	7 3 2 1	7 4 2 2
21			4 2 1 1	4 2 1 1	5 2 1 1	5 2 1 1	5 3 2 1	6 3 2 1	6 3 2 1	7 3 2 1	7 4 2 2	8 4 2 2
22				4 2 1 1	5 2 1 1	5 2 2 1	6 3 2 1	6 3 2 1	7 3 2 1	7 3 2 1	7 4 2 2	8 4 2 2
23				4 2 1 1	5 2 1 1	5 3 2 1	6 3 2 1	6 3 2 1	7 3 2 1	7 4 2 2	8 4 2 2	8 4 3 2
24				5 2 1 1	5 2 1 1	6 3 2 1	6 3 2 1	6 3 2 1	7 3 2 1	7 4 2 2	8 4 2 2	8 4 3 2
25					5 2 1 1	6 3 2 1	6 3 2 1	7 3 2 1	7 3 2 2	8 4 2 2	8 4 2 2	9 4 3 2
26						6 3 2 1	6 3 2 1	7 3 2 1	7 4 2 2	8 4 2 2	8 4 3 2	9 4 3 2
27						6 3 2 1	6 3 2 1	7 3 2 1	7 4 2 2	8 4 2 2	8 4 3 2	9 4 3 2
28							6 3 2 1	7 3 2 1	8 4 2 2	8 4 2 2	9 4 3 2	9 4 3 2
29							7 3 2 1	7 3 2 2	8 4 2 2	8 4 3 2	9 4 3 2	9 5 3 2
30								7 4 2 2	8 4 2 2	8 4 3 2	9 4 3 2	9 5 3 2
31									8 4 2 2	8 4 3 2	9 4 3 2	9 5 3 2
32									8 4 2 2	9 4 3 2	9 4 3 2	10 5 3 2
33									8 4 3 2	9 4 3 2	9 5 3 2	10 5 3 2
34											9 5 3 2	10 5 3 2
35												10 5 3 2
36												10 5 3 2
37												
38												
39												
40												
41												
42												
43												
44												
45												
46												
47												
48												
49												
50												
51												
52												
53												
54												
55												
56												
57												
58												
59												
60												

Annexe K. (suite et fin)

Hauteur totale (m)											dhp (cm)	
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
												11
												12
												13
												14
												15
												16
												17
7	3	2	2									18
7	4	2	2									19
8	4	2	2	8	4	3	2	9	4	3	2	20
8	4	3	2	9	4	3	2	9	4	3	2	21
8	4	3	2	9	4	3	2	9	5	3	2	22
9	4	3	2	9	4	3	2	9	5	3	2	23
9	4	3	2	9	5	3	2	10	5	3	2	24
9	4	3	2	9	5	3	2	10	5	3	2	25
9	5	3	2	10	5	3	2	10	5	3	2	26
9	5	3	2	10	5	3	2	11	5	3	2	27
10	5	3	2	10	5	3	2	11	5	3	3	28
10	5	3	2	10	5	3	2	11	5	3	2	29
10	5	3	2	10	5	3	2	11	5	3	2	30
10	5	3	2	11	5	3	2	11	6	4	3	31
10	5	3	2	11	5	3	2	11	6	4	3	32
10	5	3	2	11	5	3	2	11	6	4	3	33
10	5	3	2	11	5	3	2	11	6	4	3	34
10	5	3	2	11	5	3	2	11	6	4	3	35
10	5	3	2	11	5	3	2	11	6	4	3	36
10	5	3	2	11	5	3	2	11	6	4	3	37
10	5	3	2	11	5	3	2	11	6	4	3	38
10	5	3	2	11	5	3	2	11	6	4	3	39
10	5	3	2	11	5	3	2	11	6	4	3	40
10	5	3	2	11	5	3	2	11	6	4	3	41
10	5	3	2	11	5	3	2	11	6	4	3	42
10	5	3	2	11	5	3	2	11	6	4	3	43
10	5	3	2	11	5	3	2	11	6	4	3	44
10	5	3	2	11	5	3	2	11	6	4	3	45
10	5	3	2	11	5	3	2	11	6	4	3	46
10	5	3	2	11	5	3	2	11	6	4	3	47
10	5	3	2	11	5	3	2	11	6	4	3	48
10	5	3	2	11	5	3	2	11	6	4	3	49
10	5	3	2	11	5	3	2	11	6	4	3	50
10	5	3	2	11	5	3	2	11	6	4	3	51
10	5	3	2	11	5	3	2	11	6	4	3	52
10	5	3	2	11	5	3	2	11	6	4	3	53
10	5	3	2	11	5	3	2	11	6	4	3	54
10	5	3	2	11	5	3	2	11	6	4	3	55
10	5	3	2	11	5	3	2	11	6	4	3	56
10	5	3	2	11	5	3	2	11	6	4	3	57
10	5	3	2	11	5	3	2	11	6	4	3	58
10	5	3	2	11	5	3	2	11	6	4	3	59
10	5	3	2	11	5	3	2	11	6	4	3	60

Annexe L. Volume sans écorce (dm<sup>3</sup>, dans l'ordre des cellules) du 1<sup>er</sup>, 2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> billon de 8 pieds de peuplier hybride, et volume résiduel jusqu'à un diamètre au fin bout de 9 cm, en fonction du dhp et de la hauteur totale. Un point signifie que le billon de ce rang ne peut être découpé en respectant le diamètre de 9 cm au fin bout. Les cellules en grisé correspondent à l'exemple cité à la p. 15

dhp (cm)	Hauteur totale (m)														
	8	9	10	11	12	13	14	15							
11					23 . . . . . 1	24 . . . . . 3	25 . . . . . 4								
12		24 . . . . . 1	25 . . . . . 3	27 . . . . . 5	28 . . . . . 7	29 . . . . . 9	30 . . . . . 12	31 . . . . . 15							
13	26 . . . . . 1	27 . . . . . 3	29 . . . . . 6	30 . . . . . 8	31 . . . . . 11	33 . . . . . 14	34 . . . . . 18	35 21 . . . . . 1							
14	29 . . . . . 3	31 . . . . . 6	32 . . . . . 9	34 . . . . . 12	35 . . . . . 15	37 . . . . . 19	38 21 . . . . . 2	40 23 . . . . . 5							
15	32 . . . . . 5	34 . . . . . 8	36 . . . . . 11	38 . . . . . 15	39 . . . . . 20	41 22 . . . . . 2	43 24 . . . . . 5	44 26 . . . . . 8							
16	36 . . . . . 6	38 . . . . . 10	40 . . . . . 14	42 . . . . . 19	44 22 . . . . . 2	45 24 . . . . . 5	47 26 . . . . . 8	49 28 . . . . . 12							
17		42 . . . . . 13	44 . . . . . 17	46 22 . . . . . 1	48 24 . . . . . 4	50 27 . . . . . 7	52 29 . . . . . 11	54 31 . . . . . 16							
18		46 . . . . . 15	48 . . . . . 20	50 24 . . . . . 2	52 26 . . . . . 6	55 29 . . . . . 10	57 32 . . . . . 14	59 34 . . . . . 19							
19			52 23 . . . . . 1	55 26 . . . . . 4	57 29 . . . . . 8	59 32 . . . . . 12	62 34 . . . . . 17	64 37 21 . . . . . 2							
20			57 24 . . . . . 2	59 28 . . . . . 5	62 31 . . . . . 10	64 34 . . . . . 15	67 37 20 . . . . . 0	69 40 23 . . . . . 3							
21			61 26 . . . . . 3	64 30 . . . . . 7	67 34 . . . . . 12	69 37 . . . . . 17	72 40 22 . . . . . 1	75 44 25 . . . . . 5							
22				69 32 . . . . . 8	72 36 . . . . . 14	75 40 . . . . . 20	78 43 24 . . . . . 3	80 47 27 . . . . . 7							
23				74 35 . . . . . 10	77 39 . . . . . 16	80 43 22 . . . . . 1	83 46 25 . . . . . 4	86 50 29 . . . . . 9							
24				79 37 . . . . . 11	82 41 . . . . . 17	86 46 23 . . . . . 2	89 50 27 . . . . . 6	92 54 31 . . . . . 11							
25					88 44 . . . . . 19	91 49 24 . . . . . 3	95 53 29 . . . . . 7	98 57 33 . . . . . 12							
26						97 52 26 . . . . . 4	101 56 31 . . . . . 8	104 61 35 . . . . . 14							
27						103 55 28 . . . . . 5	107 60 32 . . . . . 10	111 65 37 . . . . . 16							
28							113 63 34 . . . . . 11	117 68 39 . . . . . 18							
29							120 67 36 . . . . . 12	124 72 42 . . . . . 19							
30								131 76 44 21 . . . . . 0							
31															
32															
33															
34															
35															
36															
37															
38															
39															
40															
41															
42															
43															
44															
45															
46															
47															
48															
49															
50															
51															
52															
53															
54															
55															
56															
57															
58															
59															
60															

Annexe L. (suite)

Hauteur totale (m)																				dhp (cm)									
16					17					18					19					20									
																					11								
																					12								
																					13								
41	25	.	.	8																	14								
46	28	.	.	12																	15								
51	31	.	.	16	52	33	20	.	.	0											16								
56	34	20	.	0	58	36	22	.	.	3	59	38	25	.	.	7	61	41	27	.	11	17							
61	37	22	.	3	63	39	25	.	.	6	65	42	27	.	.	10	67	44	29	.	15	69	47	32	.	20	18		
66	40	24	.	5	68	43	27	.	.	9	71	45	29	.	.	14	73	48	32	.	19	76	51	35	22	.	3	19	
72	43	26	.	7	74	46	29	.	.	12	77	49	32	.	.	17	79	52	35	22	.	2	82	55	37	24	.	5	20
77	47	28	.	10	80	50	31	.	.	15	83	53	34	20	.	0	86	56	37	23	.	4	88	60	40	26	.	8	21
83	50	30	.	12	86	54	34	.	.	18	89	57	37	22	.	2	92	61	40	25	.	6	95	64	43	28	.	11	22
89	54	33	.	14	92	58	36	20	.	0	96	61	40	24	.	4	99	65	43	27	.	8	102	69	47	30	.	14	23
95	58	35	.	16	99	62	39	22	.	1	102	66	42	25	.	6	105	70	46	29	.	10	109	74	50	32	.	16	24
102	61	37	.	19	105	66	41	23	.	3	109	70	45	27	.	7	112	74	49	31	.	13	116	78	53	34	.	19	25
108	65	39	21	0	112	70	44	25	.	4	116	74	48	29	.	9	120	79	52	33	.	15	124	83	57	37	21	1	26
115	69	42	22	1	119	74	46	26	.	5	123	79	51	30	.	11	127	84	55	35	.	17	131	89	60	39	22	2	27
121	73	44	23	2	126	78	49	28	.	7	130	83	54	32	.	12	134	89	59	37	.	19	139	94	63	41	24	3	28
128	78	47	25	3	133	83	52	29	.	8	137	88	57	34	.	14	142	94	62	39	21	0	147	99	67	44	25	5	29
135	82	49	26	4	140	87	55	31	.	9	145	93	60	36	.	16	150	99	65	41	22	1	155	104	71	46	27	6	30
142	86	52	27	5	147	92	58	32	.	11	152	98	63	38	.	18	157	104	69	43	23	2	163	110	74	48	28	7	31
150	90	55	29	6	155	97	61	34	.	12	160	103	66	40	.	19	166	109	72	45	24	3	171	116	78	51	29	9	32
157	95	57	30	7	163	101	64	36	.	13	168	108	70	42	21	0	174	115	76	47	26	5	179	121	82	53	31	10	33
											176	113	73	44	22	1	182	120	80	50	27	6	188	127	86	56	32	11	34
																	190	126	83	52	28	6	197	133	90	58	34	13	35
																	199	131	87	54	29	7	206	139	94	61	35	14	36
																							215	145	98	64	37	15	37
																							224	151	102	66	38	17	38
																													39
																													40
																													41
																													42
																													43
																													44
																													45
																													46
																													47
																													48
																													49
																													50
																													51
																													52
																													53
																													54
																													55
																													56
																													57
																													58
																													59
																													60

## Annexe L. (suite)

dhp (cm)	Hauteur totale (m)																																	
	21							22							23							24							25					
11																																		
12																																		
13																																		
14																																		
15																																		
16																																		
17																																		
18																																		
19																																		
20	85	58	40	27	.	10	87	62	43	30	.	15																						
21	91	63	44	29	.	13	94	66	47	32	.	19	97	70	50	35	23	2																
22	98	68	47	31	.	17	101	71	50	35	22	1	105	75	54	38	25	5																
23	105	73	50	34	.	20	109	77	54	37	24	3	112	80	57	40	27	8																
24	112	78	54	36	22	1	116	82	57	40	25	6	120	86	61	43	28	11	124	90	65	47	32	17										
25	120	83	57	38	23	3	124	87	61	42	27	8	128	92	65	46	30	13	132	96	70	50	34	20										
26	128	88	61	41	25	5	132	93	65	45	28	10	136	98	69	49	32	16	140	102	74	53	36	23										
27	135	93	64	43	26	7	140	98	69	48	30	12	144	103	74	52	34	19	149	109	78	56	38	27										
28	143	99	68	46	28	8	148	104	73	50	32	14	153	110	78	55	36	22	157	115	83	60	41	30										
29	151	104	72	48	29	10	156	110	77	53	34	17	161	116	82	58	38	24	166	121	88	63	43	33	171	127	93	68	47	43				
30	160	110	76	51	31	12	165	116	81	56	36	19	170	122	87	61	40	27	175	128	93	66	45	36	181	134	98	72	50	47				
31	168	116	80	54	33	14	173	122	86	59	38	21	179	128	92	64	42	30	185	135	97	70	48	40	190	141	103	76	53	51				
32	177	122	84	56	34	15	182	128	90	62	39	23	188	135	96	68	45	32	194	142	102	74	50	43	200	149	109	79	55	55				
33	185	128	88	59	36	17	191	135	95	65	41	25	197	142	101	71	47	35	204	149	107	77	52	46	210	156	114	83	58	59				
34	194	134	93	62	38	19	200	141	99	68	43	27	207	148	106	75	49	38	213	156	113	81	55	50	220	163	120	87	61	63				
35	203	140	97	65	39	20	210	148	104	71	45	30	216	155	111	78	51	40	223	163	118	85	58	53	230	171	125	91	64	67				
36	212	147	101	68	41	22	219	154	108	75	47	32	226	162	116	81	54	43	233	170	123	88	60	56	241	179	131	95	67	71				
37	222	153	106	71	43	24	229	161	113	78	49	34	236	169	121	85	56	46	243	178	129	92	63	60	251	186	136	100	70	75				
38	231	160	110	74	45	26	238	168	118	81	52	36	246	177	126	89	58	49	254	185	134	96	65	63	262	194	142	104	73	79				
39	241	166	115	77	47	27	248	175	123	85	54	39	256	184	131	92	61	52	264	193	140	100	68	67	273	202	148	108	76	84				
40	250	173	119	80	49	29	258	182	128	88	56	41	267	191	136	96	63	54	275	201	145	104	71	70	284	211	154	113	79	88				
41	260	180	124	83	51	31	269	189	133	91	58	43	277	199	142	100	66	57	286	209	151	108	74	74	295	219	160	117	82	92				
42							279	197	138	95	60	45	288	207	147	104	68	60	297	217	157	113	77	77	306	227	166	122	85	96				
43													299	214	153	108	71	63	308	225	163	117	79	81	318	236	173	126	88	101				
44													310	222	158	112	74	66	319	233	169	121	82	84	329	245	179	131	91	105				
45																			331	242	175	125	85	88	341	253	185	135	94	110				
46																			342	250	181	130	88	92	353	262	192	140	98	114				
47																			354	259	187	134	91	95	365	271	198	145	101	119				
48																			366	267	193	139	94	99	377	280	205	150	105	123				
49																			378	276	200	143	97	103	390	289	212	155	108	128				
50																										402	299	219	160	111	132			
51																										415	308	226	165	115	137			
52																										428	318	233	170	119	142			
53																										441	327	240	175	122	147			
54																																		
55																																		
56																																		
57																																		
58																																		
59																																		
60																																		



Annexe M. Volume sans écorce (dm<sup>3</sup>, dans l'ordre des cellules) du 1<sup>er</sup>, 2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> billon de 12 pieds de peuplier hybride, et volume résiduel jusqu'à un diamètre au fin bout de 9 cm, en fonction du dhp et de la hauteur totale. Un point signifie que le billon de ce rang ne peut être découpé en respectant le diamètre de 9 cm au fin bout. Les cellules en gris correspondent à l'exemple cité à la p. 15

Dhp (cm)	Hauteur totale (m)																				
	10	11	12	13	14	15	16	17													
12				37 . . . . . 1	39 . . . . . 3	41 . . . . . 5															
13		38 . . . . . 0	40 . . . . . 2	42 . . . . . 5	44 . . . . . 7	46 . . . . . 10															
14	41 . . . . . 0	43 . . . . . 3	45 . . . . . 5	48 . . . . . 8	50 . . . . . 12	52 . . . . . 15	54 . . . . . 19														
15	45 . . . . . 2	48 . . . . . 5	51 . . . . . 8	53 . . . . . 12	56 . . . . . 16	58 . . . . . 20	61 . . . . . 25														
16	50 . . . . . 4	53 . . . . . 8	56 . . . . . 11	59 . . . . . 16	62 . . . . . 20	64 . . . . . 25	67 . . . . . 30	70 35 . . . . 1													
17	55 . . . . . 6	58 . . . . . 10	62 . . . . . 14	65 . . . . . 19	68 . . . . . 24	71 . . . . . 30	74 35 . . . . 1	77 38 . . . . 4													
18	60 . . . . . 8	64 . . . . . 12	67 . . . . . 17	71 . . . . . 23	74 . . . . . 29	77 35 . . . . 0	81 38 . . . . 3	84 42 . . . . 7													
19	65 . . . . . 10	69 . . . . . 15	73 . . . . . 20	77 . . . . . 26	81 . . . . . 33	84 38 . . . . 2	88 42 . . . . 6	91 46 . . . . 10													
20	71 . . . . . 12	75 . . . . . 17	79 . . . . . 23	83 . . . . . 30	87 37 . . . . 1	91 41 . . . . 4	95 45 . . . . 8	99 50 . . . . 13													
21	77 . . . . . 14	81 . . . . . 20	86 . . . . . 26	90 . . . . . 34	94 39 . . . . 2	98 44 . . . . 6	103 49 . . . . 10	107 53 . . . . 16													
22		87 . . . . . 22	92 . . . . . 29	97 37 . . . . 0	101 42 . . . . 4	106 48 . . . . 8	110 53 . . . . 13	115 58 . . . . 19													
23		94 . . . . . 25	99 . . . . . 32	104 40 . . . . 1	109 46 . . . . 5	114 51 . . . . 10	118 56 . . . . 15	123 62 . . . . 21													
24		100 . . . . . 27	106 . . . . . 36	111 43 . . . . 2	116 49 . . . . 6	121 54 . . . . 11	127 60 . . . . 17	132 66 . . . . 24													
25			112 . . . . . 39	118 46 . . . . 3	124 52 . . . . 8	129 58 . . . . 13	135 64 . . . . 20	141 70 . . . . 27													
26				126 48 . . . . 4	132 55 . . . . 9	138 62 . . . . 15	143 68 . . . . 22	149 75 . . . . 30													
27				133 51 . . . . 5	140 59 . . . . 11	146 66 . . . . 17	152 72 . . . . 24	159 79 . . . . 33													
28					148 62 . . . . 12	154 69 . . . . 19	161 77 . . . . 27	168 84 . . . . 36													
29					156 65 . . . . 13	163 73 . . . . 21	170 81 . . . . 29	177 89 38 . . . 1													
30						172 77 . . . . 22	180 85 . . . . 32	187 93 40 . . . 2													
31							189 90 . . . . 34	197 98 42 . . . 3													
32							199 94 . . . . 36	207 103 45 . . . 3													
33							208 99 39 . . . 0	217 109 47 . . . 4													
34																					
35																					
36																					
37																					
38																					
39																					
40																					
41																					
42																					
43																					
44																					
45																					
46																					
47																					
48																					
49																					
50																					
51																					
52																					
53																					
54																					
55																					
56																					
57																					
58																					
59																					
60																					



## Annexe M. (suite)

Dhp (cm)	Hauteur totale (m)																							
	24					25					26					27								
12																								
13																								
14																								
15																								
16																								
17																								
18																								
19																								
20																								
21																								
22																								
23																								
24	171	106	65	.	.	33																		
25	182	113	69	37	.	0																		
26	193	121	73	39	.	2																		
27	205	128	78	42	.	4																		
28	217	135	82	44	.	6																		
29	229	143	87	47	.	8	238	151	94	53	.	14												
30	242	151	92	49	.	10	250	160	100	56	.	17												
31	255	159	97	52	.	12	264	168	105	59	.	19												
32	268	167	102	54	.	14	277	176	110	62	.	21												
33	281	175	107	57	.	16	291	185	116	65	.	24												
34	294	183	112	60	.	18	305	194	121	68	.	26												
35	308	192	117	63	.	19	319	203	127	71	.	28	330	214	137	80	39	1						
36	322	201	122	66	.	21	333	212	133	74	.	31	345	224	143	84	40	2						
37	336	209	128	68	.	23	348	222	138	78	.	33	360	234	149	87	42	3						
38	350	218	133	71	.	25	363	231	144	81	.	36	375	244	156	91	44	4	388	257	167	101	52	10
39	365	227	139	74	.	27	378	241	150	84	38	0	391	254	162	95	46	5	404	268	174	105	54	12
40	380	237	144	77	.	29	393	250	156	88	39	1	407	264	169	99	47	6	421	279	181	110	56	13
41	395	246	150	80	.	31	408	260	162	91	41	2	423	275	175	102	49	7	437	290	188	114	58	14
42	410	255	156	83	.	33	424	270	169	95	42	3	439	285	182	106	51	8	454	301	196	118	61	16
43	425	265	161	87	.	35	440	280	175	98	44	4	455	296	189	110	53	10	471	312	203	123	63	17
44	441	275	167	90	.	36	456	291	181	102	46	4	472	307	196	114	55	11	488	323	210	127	65	19
45	457	285	173	93	38	0	473	301	188	106	47	5	489	318	203	118	57	12	506	335	218	132	68	20
46	473	295	179	96	39	1	489	312	195	109	49	6	506	329	210	123	59	13	524	347	225	136	70	22
47	489	305	186	99	41	2	506	322	201	113	51	7	523	340	217	127	61	14	542	359	233	141	72	23
48	505	315	192	103	42	2	523	333	208	117	52	8	541	352	224	131	63	15	560	371	241	146	75	24
49	522	325	198	106	43	3	540	344	215	121	54	9	559	363	232	135	65	16	578	383	249	151	77	26
50							557	355	222	124	56	9	577	375	239	140	67	17	597	395	257	155	80	27
51							575	366	229	128	57	10	595	387	247	144	69	18	615	407	265	160	82	29
52							593	377	236	132	59	11	613	398	254	149	72	19	634	420	273	165	85	30
53							611	389	243	136	61	12	632	411	262	153	74	20	654	433	281	170	87	32
54																			673	446	290	175	90	33
55																			693	459	298	180	93	34
56																								
57																								
58																								
59																								
60																								

Annexe M. (suite et fin)

Hauteur totale (m)														Dhp (cm)				
28				29				30										
														12				
														13				
														14				
														15				
														16				
														17				
														18				
														19				
														20				
														21				
														22				
														23				
														24				
														25				
														26				
														27				
														28				
														29				
														30				
														31				
														32				
														33				
														34				
														35				
														36				
														37				
														38				
														39				
														40				
452	305	202	126	68	23									41				
470	316	209	131	71	25									42				
487	328	217	135	73	27									43				
505	340	225	140	76	29									44				
523	353	233	145	79	30	541	371	249	159	90	43			45				
542	365	241	151	81	32	560	384	258	165	93	45			46				
560	377	250	156	84	34	579	397	266	171	97	47			47				
579	390	258	161	87	36	599	410	275	176	100	50			48				
598	403	266	166	90	38	618	424	284	182	103	52	639	445	303	199	117	69	49
617	416	275	172	93	40	638	437	294	188	106	55	660	459	313	205	121	72	50
637	429	284	177	96	41	658	451	303	194	110	57	681	473	322	211	124	75	51
656	442	292	182	99	43	679	465	312	200	113	59	702	488	332	218	128	78	52
676	456	301	188	102	45	699	479	322	206	117	62	723	503	342	225	132	81	53
696	469	310	194	105	47	720	493	331	212	120	64	744	518	353	231	136	84	54
716	483	319	199	108	49	741	507	341	218	124	66	766	533	363	238	140	87	55
737	497	328	205	111	51	762	522	351	225	127	69	788	548	373	245	144	90	56
758	511	338	211	114	53	783	537	360	231	131	71	810	564	384	252	148	93	57
						805	551	370	237	134	74	832	579	394	259	152	96	58
						827	566	380	244	138	76	855	595	405	266	156	99	59
						849	582	391	250	142	79	878	611	416	273	160	103	60

Annexe N. Volume sans écorce (dm<sup>3</sup>, dans l'ordre des cellules) du 1<sup>er</sup>, 2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> billon de 16 pieds de peuplier hybride, et volume résiduel jusqu'à un diamètre au fin bout de 9 cm, en fonction du dhp et de la hauteur totale. Un point signifie que le billon de ce rang ne peut être découpé en respectant le diamètre de 9 cm au fin bout

dhp (cm)	Hauteur totale (m)																																							
	11		12		13		14		15		16		17		18																									
13									55	.	.	.	1																											
14					56	.	.	.	0	59	.	.	.	3	62	.	.	.	5	65	.	.	.	8																
15				59	.	.	.	0	62	.	.	.	3	66	.	.	.	6	69	.	.	.	9	72	.	.	.	13												
16				65	.	.	.	2	69	.	.	.	5	73	.	.	.	9	76	.	.	.	13	80	.	.	.	17	84	.	.	.	22							
17	67	.	.	.	1	71	.	.	.	4	76	.	.	.	8	80	.	.	.	12	84	.	.	.	17	88	.	.	.	22	92	.	.	.	27	96	.	.	.	33
18	73	.	.	.	3	78	.	.	.	7	83	.	.	.	11	87	.	.	.	15	92	.	.	.	20	96	.	.	.	26	101	.	.	.	32	106	.	.	.	39
19	80	.	.	.	5	85	.	.	.	9	90	.	.	.	13	95	.	.	.	18	100	.	.	.	24	105	.	.	.	30	110	.	.	.	37	115	.	.	.	45
20	86	.	.	.	6	92	.	.	.	11	98	.	.	.	16	103	.	.	.	21	108	.	.	.	28	114	.	.	.	35	119	.	.	.	42	124	.	.	.	51
21	93	.	.	.	8	99	.	.	.	13	105	.	.	.	18	111	.	.	.	25	117	.	.	.	32	123	.	.	.	39	129	.	.	.	48	134	55	.	1	
22	100	.	.	.	9	107	.	.	.	15	113	.	.	.	21	120	.	.	.	28	126	.	.	.	35	132	.	.	.	44	138	.	.	.	53	144	60	.	3	
23	107	.	.	.	11	115	.	.	.	17	121	.	.	.	23	128	.	.	.	31	135	.	.	.	39	142	.	.	.	48	148	57	.	1	155	64	.	5		
24	115	.	.	.	12	122	.	.	.	19	130	.	.	.	26	137	.	.	.	34	144	.	.	.	43	151	.	.	.	53	158	61	.	3	166	68	.	7		
25				131	.	.	.	21	138	.	.	.	29	146	.	.	.	37	154	.	.	.	47	161	57	.	0	169	65	.	4	176	73	.	9					
26								147	.	.	.	31	155	.	.	.	41	163	.	.	.	51	171	61	.	1	180	69	.	6	188	77	.	11						
27								156	.	.	.	34	165	.	.	.	44	173	.	.	.	55	182	65	.	2	190	73	.	7	199	82	.	13						
28												174	.	.	.	47	184	.	.	.	59	193	69	.	3	202	78	.	8	211	87	.	14							
29												184	.	.	.	51	194	63	.	0	203	72	.	5	213	82	.	10	223	92	.	16								
30																	204	66	.	1	215	76	.	6	225	87	.	11	235	97	.	18								
31																									226	80	.	7	236	91	.	13	247	102	.	20				
32																										237	85	.	8	248	96	.	14	260	107	.	22			
33																											249	89	.	9	261	101	.	15	273	112	.	23		
34																																				286	118	.	25	
35																																								
36																																								
37																																								
38																																								
39																																								
40																																								
41																																								
42																																								
43																																								
44																																								
45																																								
46																																								
47																																								
48																																								
49																																								
50																																								
51																																								
52																																								
53																																								
54																																								
55																																								
56																																								
57																																								
58																																								
59																																								
60																																								



## Annexe N. (suite)

dhp (cm)	Hauteur totale (m)																			
	25					26					27					28				
13																				
14																				
15																				
16																				
17																				
18																				
19																				
20																				
21																				
22																				
23																				
24																				
25																				
26																				
27																				
28																				
29	294	161	80	.	15															
30	310	170	84	.	18															
31	327	179	89	.	20															
32	344	188	93	.	23															
33	360	197	98	.	25															
34	378	207	102	.	27															
35	395	216	107	.	30	410	230	119	.	41										
36	413	226	112	.	32	429	241	125	.	44										
37	431	236	117	.	35	447	251	130	.	47										
38	450	246	122	.	37	467	262	136	.	50	484	278	149	62	2					
39	468	256	127	.	40	486	273	141	.	53	504	290	156	65	3					
40	487	266	132	.	42	506	284	147	.	56	524	301	162	68	4					
41	506	277	137	.	44	526	295	153	59	0	545	313	168	70	5	565	332	184	82	11
42	526	287	143	.	47	546	306	159	61	1	566	325	175	73	6	587	345	191	85	13
43	546	298	148	.	49	566	318	165	63	2	587	338	181	76	7	609	358	199	89	14
44	566	309	153	.	52	587	329	171	66	2	609	350	188	78	8	631	371	206	92	15
45	586	320	159	.	54	608	341	177	68	3	631	362	195	81	9	654	384	213	95	17
46	606	332	165	.	57	629	353	183	70	4	653	375	202	84	10	677	398	221	99	18
47	627	343	170	59	0	651	365	189	73	5	675	388	209	87	11	700	411	228	102	20
48	648	354	176	61	1	673	377	195	75	6	698	401	215	90	12	723	425	236	105	21
49	669	366	182	63	1	695	390	202	78	6	721	414	223	93	13	747	439	244	109	22
50	691	378	187	65	2	717	402	208	80	7	744	427	230	96	14	771	453	252	112	24
51	713	390	193	68	2	740	415	215	83	8	767	441	237	99	15	796	467	260	116	25
52	735	402	199	70	3	762	428	222	85	9	791	455	244	102	16	820	482	268	119	26
53	757	414	205	72	3	785	441	228	88	9	815	468	252	105	17	845	496	276	123	28
54											839	482	259	108	18	870	511	284	127	29
55											863	496	267	111	19	895	526	292	130	30
56																921	541	300	134	32
57																947	556	309	138	33
58																				
59																				
60																				

Annexe N. (suite et fin)

Hauteur totale (m)										dhp (cm)
29					30					
										13
										14
										15
										16
										17
										18
										19
										20
										21
										22
										23
										24
										25
										26
										27
										28
										29
										30
										31
										32
										33
										34
										35
										36
										37
										38
										39
										40
										41
										42
										43
										44
678	407	232	110	26						45
702	421	240	114	28						46
726	435	249	118	30						47
750	450	257	122	32						48
775	465	265	126	33	803	491	288	143	47	49
799	480	274	130	35	828	507	297	148	49	50
825	495	283	134	37	854	523	306	153	51	51
850	510	291	138	39	881	539	316	157	54	52
876	525	300	142	40	908	555	325	162	56	53
902	541	309	146	42	934	571	335	167	58	54
928	557	318	151	44	962	588	345	172	60	55
955	573	327	155	46	989	605	355	177	63	56
981	589	336	159	48	1 017	622	365	182	65	57
1 009	605	346	164	49	1 045	639	375	187	67	58
1 036	621	355	168	51	1 073	656	385	192	70	59
1 064	638	365	173	53	1 102	674	395	197	72	60



Annexe O. (suite)

Hauteur totale (m)																				dhp (cm)																							
15				16				17				18				19					20																						
																					11																						
38	.	.	.	.	18																12																						
43	24	.	.	.	1																13																						
48	27	.	.	.	5	50	30	.	.	.	9										14																						
53	30	.	.	.	10	55	33	.	.	.	14										15																						
59	34	.	.	.	14	61	36	.	.	.	19	63	39	24	.	.	.	0			16																						
64	37	.	.	.	18	67	40	24	.	.	0	70	43	27	.	.	4	72	46	29	.	.	8	75	49	32	.	.	13					17									
70	40	.	.	.	23	73	43	26	.	.	3	76	47	29	.	.	7	79	50	32	.	.	12	82	53	35	.	.	18	85	56	38	.	.	24	18							
77	44	25	.	.	2	79	47	28	.	.	6	83	51	32	.	.	11	86	54	35	.	.	16	89	58	38	.	.	23	92	61	41	27	.	3	19							
83	47	27	.	.	4	86	51	31	.	.	9	89	55	34	.	.	14	93	59	38	.	.	20	96	62	41	26	.	.	2	99	66	45	29	.	6	20						
89	51	29	.	.	6	93	55	33	.	.	11	96	59	37	.	.	17	100	63	41	24	.	.	0	103	67	44	28	.	.	5	107	71	48	31	.	10	21					
96	55	32	.	.	8	100	59	36	.	.	14	103	64	40	.	.	21	107	68	44	26	.	.	2	111	72	48	30	.	.	7	115	77	52	33	.	13	22					
103	59	34	.	.	10	107	63	38	.	.	17	111	68	42	24	.	.	0	115	73	47	28	.	.	4	119	77	51	32	.	.	10	123	82	55	36	.	16	23				
110	63	36	.	.	12	114	68	41	.	.	19	118	73	45	25	.	.	2	123	78	50	30	.	.	7	127	83	54	34	.	.	12	132	88	59	38	.	19	24				
117	67	38	.	.	14	121	72	43	.	.	22	126	77	48	27	.	.	3	131	83	53	32	.	.	9	135	88	58	36	.	.	15	140	94	63	41	.	23	25				
124	71	41	.	.	16	129	77	46	24	.	.	0	134	82	51	29	.	.	5	139	88	56	34	.	.	11	144	94	62	38	.	.	18	149	99	67	43	25	1	26			
132	75	43	.	.	19	137	81	49	26	.	.	2	142	87	54	31	.	.	6	147	93	60	36	.	.	13	152	99	65	41	.	.	20	158	105	71	46	26	2	27			
139	80	46	.	.	21	145	86	52	27	.	.	3	150	92	57	32	.	.	8	156	98	63	38	.	.	15	161	105	69	43	.	.	23	167	111	75	48	28	4	28			
147	84	48	.	.	23	153	91	54	29	.	.	4	158	97	61	34	.	.	10	164	104	67	40	.	.	17	170	111	73	45	25	1	176	118	79	51	30	6	29				
155	89	51	24	.	0	161	96	57	30	.	.	5	167	102	64	36	.	.	11	173	110	70	42	.	.	19	179	117	77	48	26	2	186	124	83	54	31	7	30				
						169	101	60	32	.	.	6	175	108	67	38	.	.	13	182	115	74	44	.	.	21	189	123	81	50	27	3	195	130	88	57	33	9	31				
						178	106	63	33	.	.	7	184	113	70	40	.	.	14	191	121	78	46	.	.	23	198	129	85	53	29	4	205	137	92	60	34	10	32				
						186	111	66	35	.	.	8	193	119	74	42	.	.	16	200	127	81	48	24	0	208	135	89	55	30	5	215	143	96	62	36	12	33					
																									210	133	85	51	25	1	217	141	93	58	31	7	225	150	101	65	38	14	34
																																								35			
																																								36			
																																								37			
																																								38			
																																									39		
																																									40		
																																									41		
																																									42		
																																									43		
																																									44		
																																									45		
																																									46		
																																									47		
																																									48		
																																									49		
																																									50		
																																									51		
																																									52		
																																									53		
																																									54		
																																									55		
																																									56		
																																									57		
																																									58		
																																									59		
																																									60		

## Annexe O. (suite)

dhp (cm)	Hauteur totale (m)																														
	21					22					23					24					25										
11																															
12																															
13																															
14																															
15																															
16																															
17																															
18																															
19																															
20	103	70	48	32	.	12	107	74	52	35	.	18																			
21	111	76	52	35	.	16	115	80	56	38	.	23	119	84	60	42	28	3													
22	119	81	56	37	.	20	124	86	60	41	26	1	128	91	64	45	30	6													
23	128	87	60	40	.	24	132	92	64	44	28	4	137	97	69	48	32	10													
24	136	93	64	43	26	1	141	98	68	47	30	7	146	104	73	51	34	13	151	109	78	56	38	20							
25	145	99	68	45	28	4	150	105	73	50	32	9	156	111	78	55	36	16	161	116	83	60	41	24							
26	154	105	72	48	29	6	160	111	77	53	34	12	165	117	83	58	38	19	171	124	89	63	43	28							
27	164	112	76	51	31	8	169	118	82	56	36	15	175	124	88	62	41	23	181	131	94	67	46	32							
28	173	118	81	54	33	10	179	125	87	60	38	17	185	132	93	65	43	26	192	139	99	71	48	36							
29	183	125	85	57	35	12	189	132	92	63	40	20	196	139	98	69	45	29	203	146	105	75	51	39	210	154	112	81	57	52	
30	192	131	90	60	37	14	199	139	96	66	42	22	206	146	103	73	48	32	213	154	110	79	54	43	221	162	118	86	60	56	
31	202	138	94	63	38	16	210	146	101	70	44	25	217	154	109	76	50	35	224	162	116	83	56	47	232	171	124	90	63	61	
32	213	145	99	66	40	18	220	153	107	73	46	27	228	162	114	80	53	38	236	170	122	87	59	51	244	179	130	95	66	66	
33	223	152	104	70	42	20	231	161	112	77	49	30	239	170	120	84	55	42	247	179	128	92	62	55	256	188	136	99	69	70	
34	233	159	109	73	44	22	242	168	117	80	51	33	250	178	125	88	58	45	259	187	134	96	65	59	268	197	143	104	72	75	
35	244	166	114	76	46	24	253	176	122	84	53	35	261	186	131	92	61	48	271	196	140	100	68	63	280	206	149	109	76	80	
36	255	174	119	80	48	26	264	184	128	88	56	38	273	194	137	96	63	51	283	204	146	105	71	67	292	215	156	113	79	85	
37	266	181	124	83	50	28	275	192	133	92	58	40	285	202	143	100	66	55	295	213	152	109	74	71	305	224	162	118	82	90	
38	277	189	129	86	53	30	287	200	139	95	61	43	297	211	149	105	69	58	307	222	159	114	77	75	318	234	169	123	86	95	
39	288	197	135	90	55	32	299	208	145	99	63	46	309	219	155	109	72	61	320	231	165	118	80	79	331	243	176	128	89	99	
40	300	204	140	94	57	34	310	216	150	103	66	48	321	228	161	113	74	64	332	240	172	123	84	83	344	253	183	133	93	104	
41	311	212	145	97	59	36	322	225	156	107	68	51	334	237	167	118	77	68	345	250	179	128	87	87	357	263	190	139	97	109	
42							335	233	162	111	71	54	346	246	174	122	80	71	358	259	185	133	90	91	371	273	198	144	100	115	
43													359	255	180	127	83	75	372	269	192	138	93	96	385	283	205	149	104	120	
44													372	264	186	131	86	78	385	278	199	143	97	100	398	293	212	155	108	125	
45																			399	288	206	148	100	104	412	303	220	160	112	130	
46																			412	298	213	153	104	108	427	314	227	165	115	135	
47																			426	308	220	158	107	113	441	324	235	171	119	140	
48																			440	318	228	163	111	117	456	335	243	177	123	146	
49																			455	329	235	168	114	121	470	346	251	182	127	151	
50																										485	357	258	188	131	157
51																										500	368	266	194	135	162
52																										515	379	275	200	139	168
53																										531	390	283	206	143	173
54																															
55																															
56																															
57																															
58																															
59																															
60																															





Annexe P. (suite)

Hauteur totale (m)																							dhp (cm)			
18					19					20					21					22			23			
																								12		
																								13		
																								14		
																								15		
																								16		
																								17		
																								18		
																								19		
																								20		
																								21		
																								22		
																								23		
																								24		
																								25		
																								26		
																								27		
																								28		
																								29		
																								30		
																								31		
																								32		
																								33		
																								34		
																								35		
																								36		
																								37		
																								38		
																								39		
																								40		
																								41		
																								42		
																								43		
																								44		
																								45		
																								46		
																								47		
																								48		
																								49		
																								50		
																								51		
																								52		
																								53		
																								54		
																								55		
																								56		
																								57		
																								58		
																								59		
																								60		

## Annexe P. (suite)

dhp (cm)	Hauteur totale (m)																						
	24						25						26						27				
12																							
13																							
14																							
15																							
16																							
17																							
18																							
19																							
20																							
21																							
22																							
23																							
24	208	128	77	.	.	39																	
25	222	136	83	44	.	0																	
26	236	145	88	47	.	3																	
27	250	153	93	50	.	5																	
28	264	162	98	53	.	8																	
29	279	171	104	56	.	10	290	182	113	63	.	17											
30	294	180	109	58	.	12	305	191	119	67	.	20											
31	309	190	115	62	.	14	321	201	125	70	.	23											
32	325	199	121	65	.	17	337	211	131	74	.	26											
33	340	209	127	68	.	19	354	222	138	77	.	29											
34	356	219	133	71	.	21	370	232	144	81	.	31											
35	373	229	139	74	.	23	387	243	151	84	.	34	402	257	163	95	46	1					
36	389	239	145	77	.	26	404	254	157	88	.	37	420	269	170	99	48	2					
37	406	249	151	81	.	28	422	264	164	92	.	40	438	280	178	104	50	4					
38	423	260	157	84	.	30	439	276	171	96	.	43	456	292	185	108	52	5	473	309			
39	440	270	164	88	.	32	457	287	178	100	45	1	475	304	193	112	54	6	493	322			
40	458	281	170	91	.	34	476	298	185	104	47	2	494	316	200	117	56	8	512	334			
41	476	292	177	95	.	37	494	310	192	108	48	3	513	328	208	121	59	9	532	347			
42	494	303	184	98	.	39	513	322	200	112	50	4	532	341	216	126	61	10	552	360			
43	512	314	190	102	.	41	532	333	207	116	52	5	552	353	224	131	63	12	573	374			
44	530	325	197	106	.	43	551	345	214	120	54	6	572	366	232	135	65	13	593	387			
45	549	337	204	109	45	1	570	358	222	124	56	7	592	379	240	140	68	14	614	401			
46	568	349	211	113	46	2	590	370	230	129	58	8	612	392	249	145	70	16	636	415			
47	587	360	218	117	48	2	610	382	237	133	60	9	633	405	257	150	72	17	657	429			
48	607	372	226	121	50	3	630	395	245	137	62	10	654	419	265	155	75	18	679	443			
49	626	384	233	125	51	4	650	408	253	142	64	10	675	432	274	160	77	20	701	457			
50							671	421	261	146	66	11	696	446	283	165	80	21	723	472			
51							692	434	269	151	68	12	718	460	291	170	82	22	745	486			
52							713	447	277	156	70	13	740	474	300	175	85	23	768	501			
53							734	460	286	160	72	14	762	488	309	180	87	25	791	516			
54																			814	531			
55																			837	546			
56																							
57																							
58																							
59																							
60																							

Annexe P. (suite et fin)

Hauteur totale (m)															dhp (cm)			
28					29					30								
															12			
															13			
															14			
															15			
															16			
															17			
															18			
															19			
															20			
															21			
															22			
															23			
															24			
															25			
															26			
															27			
															28			
															29			
															30			
															31			
															32			
															33			
															34			
															35			
															36			
															37			
															38			
															39			
															40			
552	367	241	150	81	28										41			
573	381	250	156	84	30										42			
594	395	259	161	87	33										43			
616	409	269	167	90	35										44			
637	424	278	173	94	37	661	447	298	190	108	52				45			
659	438	288	179	97	39	684	462	308	197	111	55				46			
682	453	297	185	100	41	707	478	318	204	115	57				47			
704	468	307	191	103	43	730	494	329	210	119	60				48			
727	483	317	197	107	46	754	510	339	217	123	63	782	537	363	237	140	84	49
750	498	327	204	110	48	778	526	350	224	127	66	807	554	374	245	144	87	50
773	514	337	210	114	50	802	542	361	231	131	69	832	571	386	253	148	91	51
797	529	347	216	117	52	826	558	372	238	135	72	857	589	397	260	153	94	52
820	545	358	223	121	55	851	575	383	245	139	74	883	606	409	268	158	98	53
844	561	368	229	124	57	876	592	394	252	143	77	908	624	421	276	162	101	54
868	577	379	236	128	59	901	609	406	259	147	80	934	642	433	284	167	105	55
893	593	389	243	131	61	926	626	417	267	151	83	961	660	445	292	172	109	56
918	610	400	249	135	64	952	643	429	274	155	86	987	678	458	300	176	112	57
						978	661	440	282	159	89	1 014	696	470	308	181	116	58
						1 004	679	452	289	164	92	1 041	715	483	316	186	120	59
						1 030	696	464	297	168	95	1 069	734	495	324	191	123	60



Annexe Q. (suite)

Hauteur totale (m)																				dhp (cm)							
20				21				22				23				24				25							
																					13						
																					14						
																					15						
																					16						
																					17						
139	63	.	1																		18						
151	68	.	5																		19						
164	74	.	8	171	80	.	14	178	87	.	20										20						
176	80	.	12	184	87	.	18	192	94	.	25	201	102	.	33						21						
189	85	.	15	198	93	.	22	207	101	.	30	216	109	.	39						22						
203	91	.	18	212	100	.	26	221	108	.	35	231	117	.	45						23						
217	98	.	22	226	107	.	30	236	116	.	40	247	125	.	50	257	134	.	62		24						
231	104	.	25	241	113	.	34	252	123	.	44	263	133	.	56	274	143	67	.	1	25						
245	110	.	28	256	121	.	38	267	131	.	49	279	141	.	62	291	152	72	.	4	26						
260	117	.	32	271	128	.	42	283	139	.	54	296	150	67	1	308	161	76	.	6	27						
275	124	.	35	287	135	.	46	300	147	.	59	313	158	70	3	326	170	80	.	8	28						
290	131	.	38	303	143	.	50	316	155	.	64	330	167	74	4	344	180	85	.	11	358	193	95	.	19	29	
306	138	.	42	319	150	.	54	333	163	68	1	348	176	78	6	362	189	89	.	13	378	203	100	.	21	30	
321	145	.	45	336	158	.	59	351	172	71	2	366	185	82	8	381	199	94	.	15	397	213	106	.	24	31	
338	152	.	49	353	166	.	63	368	180	75	4	384	194	87	10	400	209	99	.	18	417	224	111	.	27	32	
354	160	.	52	370	174	.	67	386	189	79	5	403	204	91	12	420	219	103	.	20	437	235	116	.	30	33	
371	167	.	55	387	182	70	1	404	198	82	7	422	214	95	14	440	230	108	.	22	458	246	122	.	33	34	
388	175	.	59	405	191	73	2	423	207	86	8	441	223	99	15	460	240	113	.	25	479	257	127	.	36	35	
405	182	.	62	423	199	77	3	441	216	90	9	461	233	104	17	480	251	118	.	27	500	269	133	.	39	36	
422	190	.	66	441	208	80	4	461	225	94	11	480	243	108	19	501	262	123	.	29	522	280	139	.	41	37	
440	198	.	69	460	216	83	5	480	235	98	12	501	253	113	21	522	273	128	.	32	544	292	145	.	44	38	
				478	225	87	6	499	244	102	13	521	264	117	23	543	284	134	.	34	566	304	150	.	47	39	
				498	234	90	7	519	254	106	15	542	274	122	24	565	295	139	.	36	588	316	156	.	50	40	
				517	243	94	8	539	264	110	16	563	285	127	26	587	306	144	.	38	611	328	162	.	53	41	
								560	274	114	17	584	296	132	28	609	318	150	.	41	634	341	169	.	56	42	
												606	307	137	30	631	330	155	.	43	658	353	175	.	59	43	
												627	318	141	31	654	342	161	.	45	681	366	181	.	62	44	
																677	354	167	.	48	705	379	188	.	65	45	
																700	366	172	.	50	730	392	194	.	68	46	
																724	378	178	.	52	754	405	201	70	0	47	
																748	391	184	.	55	779	419	207	73	1	48	
																772	403	190	.	57	804	432	214	75	2	49	
																						830	446	221	78	2	50
																						855	460	227	80	3	51
																						881	474	234	82	4	52
																						908	488	241	85	4	53
																											54
																											55
																											56
																											57
																											58
																											59
																											60

## Annexe Q. (suite et fin)

dhp (cm)	Hauteur totale (m)																								
	26					27					28					29					30				
13																									
14																									
15																									
16																									
17																									
18																									
19																									
20																									
21																									
22																									
23																									
24																									
25																									
26																									
27																									
28																									
29																									
30																									
31																									
32																									
33																									
34																									
35	499	275	142	.	49																				
36	521	287	148	.	52																				
37	543	300	155	.	56																				
38	566	312	161	.	59	589	333	178	74	2															
39	589	325	168	.	63	613	346	185	77	4															
40	612	338	174	.	67	637	360	193	81	5															
41	636	351	181	70	0	662	374	200	84	6	689	398	220	98	14										
42	660	364	188	73	1	687	388	208	87	8	715	413	228	102	16										
43	685	378	195	75	2	713	403	216	90	9	741	428	237	106	17										
44	709	391	202	78	3	738	417	223	93	10	768	444	245	110	19										
45	734	405	209	81	4	764	432	231	97	11	795	460	254	113	21	827	488	278	131	32					
46	760	419	216	83	5	791	447	239	100	13	823	475	263	117	22	855	505	287	136	34					
47	785	433	224	86	6	817	462	247	103	14	850	491	272	121	24	884	522	297	140	36					
48	811	448	231	89	7	844	477	255	107	15	878	508	281	125	26	913	539	307	145	39					
49	837	462	238	92	8	872	493	264	110	16	907	524	290	129	27	943	556	316	150	41	980	590	344	171	57
50	864	477	246	95	9	899	508	272	114	18	935	541	299	133	29	973	574	326	155	43	1 011	608	355	177	60
51	891	491	254	98	10	927	524	280	117	19	964	557	308	138	30	1 003	592	337	159	45	1 043	627	366	182	62
52	918	506	261	101	11	955	540	289	121	20	994	574	317	142	32	1 033	610	347	164	47	1 074	646	377	188	65
53	945	521	269	104	12	984	556	298	124	21	1 023	591	327	146	34	1 064	628	357	169	49	1 106	666	388	193	68
54						1 012	572	306	128	22	1 053	609	336	150	35	1 095	646	368	174	51	1 139	685	400	199	71
55						1 041	589	315	132	24	1 083	626	346	155	37	1 127	665	378	179	53	1 171	705	411	205	73
56											1 114	644	356	159	39	1 158	684	389	184	55	1 204	725	423	210	76
57											1 145	662	366	163	40	1 190	702	400	189	58	1 238	745	434	216	79
58																1 223	721	410	194	60	1 271	765	446	222	82
59																1 255	741	421	199	62	1 305	785	458	228	84
60																1 288	760	432	205	64	1 339	806	470	234	87

Annexe R. Images des principaux écrans du logiciel POPIJCUB

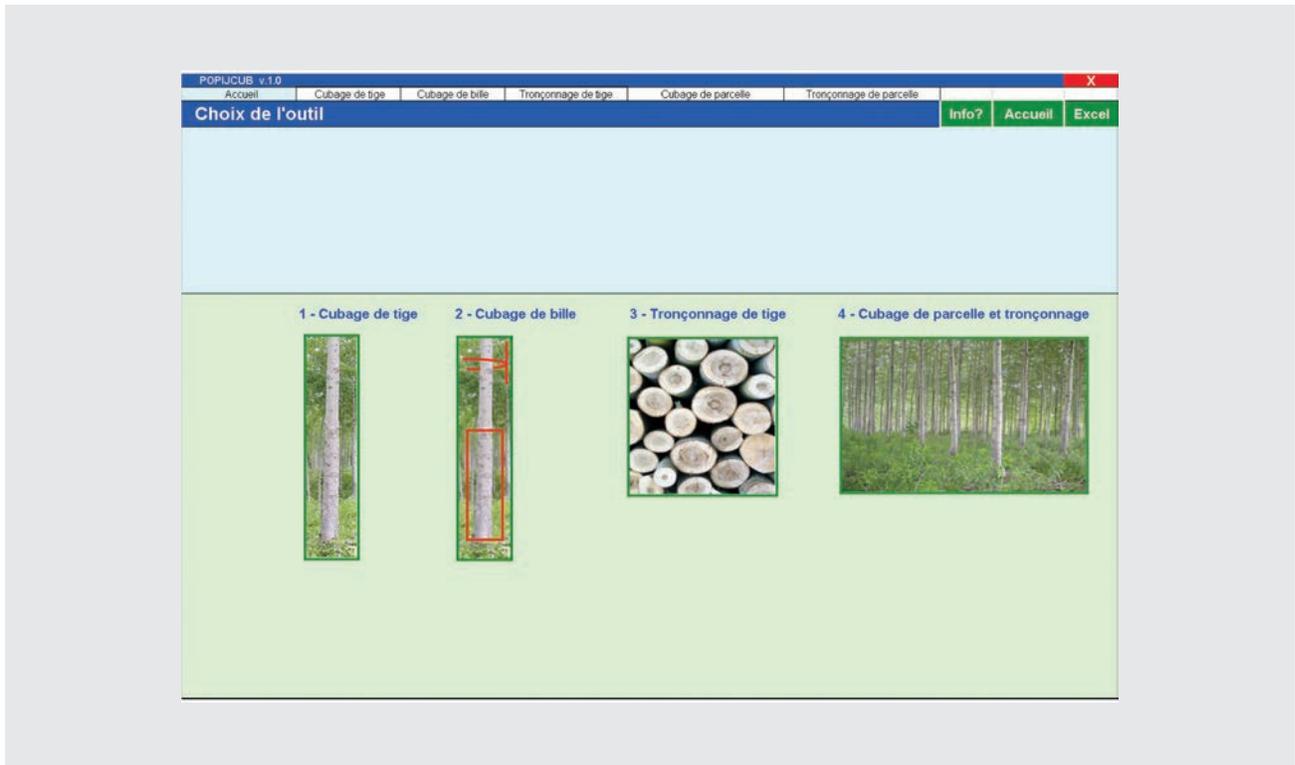


Figure 12. Page d'accueil du logiciel, permettant de choisir un outil de cubage

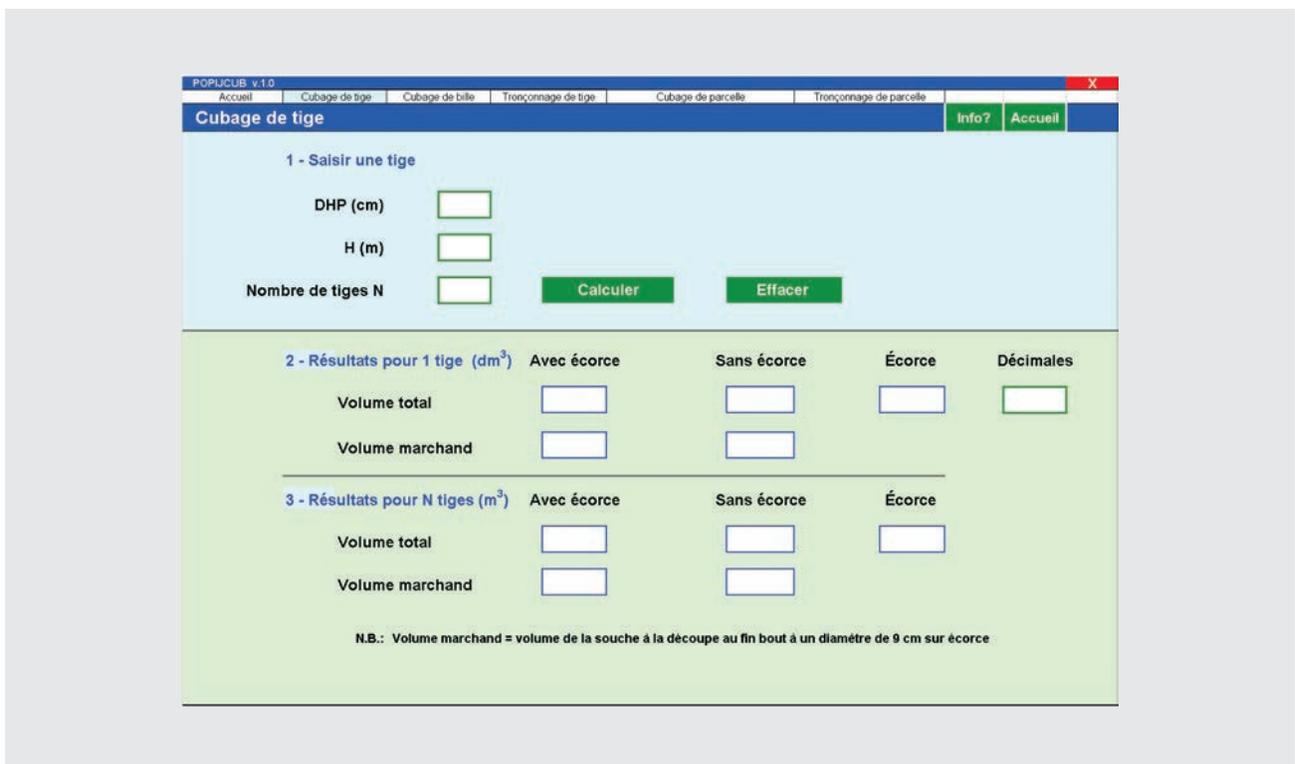


Figure 13. Écran cubage de tige

Annexe R. (suite)

POPUCUB v.1.0

Accueil Cubage de tige Cubage de bille Tronçonnage de tige Cubage de parcelle Tronçonnage de parcelle

**Cubage de bille** Info? Accueil

1 - Saisir les données de la tige et une découpe de bille

DHP (cm)  Découpe au diamètre Db (cm)   
 OU (1 seul choix)  
 H (m)  Découpe à la longueur Lb (m)   
 Nombre de tiges N  Calculer Effacer

2 - Résultats pour 1 tige (dm<sup>3</sup>)

	Avec écorce	Sans écorce	Écorce	Décimales
Volume total	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Volume marchand	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Volume d' 1 bille au diamètre Db	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
Volume d' 1 bille à la longueur Lb	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	

3 - Résultats pour N tiges (m<sup>3</sup>)

	Avec écorce	Sans écorce	Écorce
Volume total	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Volume marchand	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Volume de N billes de diamètre Db	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Volume de N billes de longueur Lb	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Figure 14. Écran cubage de bille

POPUCUB v.1.0

Accueil Cubage de tige Cubage de bille Tronçonnage de tige Cubage de parcelle Tronçonnage de parcelle

**Tronçonnage de tige** Info? Accueil

1 - Saisir une tige

DHP (cm)   
 H (m)   
 Nombre de tiges N

2 - Calculer

Nombre de billons selon la découpe  Effacer

3 - Cubage des billons par catégories

8' AÉ 12' AÉ 16' AÉ  
 8' SÉ 12' SÉ 16' SÉ  dm<sup>3</sup>  m<sup>3</sup>

4 - Résultats

Volumés des billons / catégories	Nombre de billons de						Décimales
	4'	8'	12'	16'			
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>			<input type="text"/>
	Avec Écorce			Sans Écorce			
	8'	12'	16'	8'	12'	16'	
Billon 1	<input type="text"/>						
Billon 2	<input type="text"/>						
Billon 3	<input type="text"/>						
Billon 4	<input type="text"/>						
Billon 5	<input type="text"/>						
Volumés résiduels	<input type="text"/>						

Figure 15. Écran tronçonnage de tige

Annexe R. (suite et fin)

Figure 16. Écran cubage de parcelle

Figure 17. Écran tronçonnage de parcelle







Des besoins croissants en matière ligneuse, le développement des technologies d'utilisation du bois, les nouvelles orientations et les contraintes de l'aménagement des forêts naturelles nécessitent de considérer la ligniculture d'espèces à croissance rapide au sein de notre économie forestière. Dans ce cadre, l'étude de la croissance et du rendement des plantations est essentielle. Relativement récente au Québec, la populiculture est du plus grand intérêt, en raison des performances remarquables en plantations des peupliers hybrides. La connaissance de la productivité des peupliers hybrides permet aux sylviculteurs d'optimiser la gestion sylvicole des plantations, d'adapter la récolte des produits aux besoins du marché et d'augmenter ainsi la rentabilité de leurs opérations.

**Ressources  
naturelles**

**Québec** 