

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



# Tarif de cubage, tables de rendement et modèles de croissance pour les plantations d'épinette de Norvège au Québec

par Guy Prigent, Geneviève Picher et Isabelle Auger

MÉMOIRE DE RECHERCHE FORESTIÈRE N° 176

DIRECTION DE LA RECHERCHE FORESTIÈRE



# Tarif de cubage, tables de rendement et modèles de croissance pour les plantations d'épinette de Norvège au Québec

par Guy Prigent, ing.f., M. Sc., Geneviève Picher, Stat. ASSQ, B. Sc.  
et Isabelle Auger, Stat. ASSQ, M. Sc.

MÉMOIRE DE RECHERCHE FORESTIÈRE N° 176

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 Forêts, de la Faune et des Parcs  
Direction de la recherche forestière  
2700, rue Einstein, Québec (Québec)  
Canada, G1P 3W8  
Courriel : [recherche.forestiere@mffp.gouv.qc.ca](mailto:recherche.forestiere@mffp.gouv.qc.ca)  
Internet : [www.mffp.gouv.qc.ca/forets/connaissances/recherche](http://www.mffp.gouv.qc.ca/forets/connaissances/recherche)

© Gouvernement du Québec

On peut citer ce texte en indiquant la référence. Citation recommandée :

Prégent G., G. Picher et I. Auger, 2016. *Tarif de cubage, tables de rendement et modèles de croissance pour les plantations d'épinette de Norvège au Québec*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 176. 95 p.

Toutes les publications produites par la Direction de la recherche forestière, du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, 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 : 978-2-550-74753-6  
ISBN (PDF) : 978-2-550-74754-3  
G.F.D.C. 566 (714)  
L.C. SD 557

## Notes biographiques



**Guy Prigent** est ingénieur forestier, diplômé de l'Université Laval depuis 1980. En 1985, le même établissement lui décernait un diplôme de maîtrise ès sciences. De 1982 à 1987, il a été assistant de recherche à la Faculté de foresterie et de géodésie de l'Université Laval, puis professionnel de recherche au Centre

de recherche en biologie forestière du même établissement. À l'emploi du Ministère depuis 1987, il a d'abord été affecté au Service de la régénération forestière. Depuis 1992, il est chercheur à la Direction de la recherche forestière. Ses travaux portent sur le rendement et la sylviculture des plantations.



**Geneviève Picher** est statisticienne, diplômée de l'Université Laval depuis 2007. De 2008 à 2009, elle a travaillé à l'Université Laval comme professionnelle de recherche, où elle a collaboré, avec la Direction de la recherche forestière, à l'élaboration des tables de rendement de l'épinette blanche. De 2009 à 2015, elle a

été à l'emploi de la Direction de la recherche forestière au sein de l'équipe de biométrie.



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



## Résumé

Les données récoltées depuis plus de 40 ans dans les plantations d'épinette de Norvège (*Picea abies* [L.] Karst.) du Québec ont permis de mettre au point les outils suivants : un tarif de cubage qui inclut une fonction de défilement permettant d'estimer le volume d'une tige ou d'une portion quelconque de la tige, une relation entre la hauteur dominante et l'âge de la plantation servant à estimer l'indice de qualité de station (IQS), des tables de rendement pour divers espacements initiaux et indices de qualité de station et enfin, des modèles de croissance permettant de prédire les caractéristiques dendrométriques futures d'une plantation en fonction de ses caractéristiques actuelles. Les précédentes tables de rendement publiées par Bolghari et Bertrand (1984) sous-estimaient grandement la production en volume de cette espèce en raison principalement d'une sous-estimation de la hauteur des grandes tiges faite à partir du diamètre à hauteur de poitrine (DHP). L'utilisation d'une

relation paramétrée pour estimer la hauteur a permis de résoudre ce problème. Sur des stations moyennement fertiles, soit celles ayant un IQS de 12 m à 25 ans, la production en volume marchand est estimée à 629 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> à 70 ans, ce qui correspond à une production annuelle moyenne de 9 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>. L'épinette de Norvège est une essence beaucoup plus productive que l'épinette blanche (*Picea glauca* [Moench] Voss). L'écart de production en volume marchand anticipé à 60 ans entre ces deux espèces est de 26 % dans le domaine bioclimatique de l'érablière à tilleul, de 36 % dans celui de l'érablière à bouleau jaune, de 47 % dans celui de la sapinière à bouleau jaune et de 75 % dans celui de la sapinière à bouleau blanc. Contrairement à l'épinette blanche, l'épinette de Norvège apparaît aussi productive dans les domaines de la sapinière que dans ceux de l'érablière. Elle fait partie des espèces les plus productives en plantation au Québec.

Mots-clés : Certification forestière, épicéa commun, essence exotique, reboisement.

## Abstract

*Using data gathered over more than 40 years in Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) plantations of Quebec (Canada), we developed the following tools: a volume table that includes a taper equation from which the volume of any stem or stem portion can be estimated, a relation between stand height and plantation age that serves to estimate site index, yield tables for various initial spacings and site indexes, and finally, growth models to predict a plantation's future mensurational characteristics from its current characteristics. Previous yield tables published by Bolghari et Bertrand (1984) greatly underestimated this species' volume yield, mainly because the height estimations of larger stems, which were based on diameter at breast height (DBH), were undervalued. We solved this problem by using a parametrized relation to estimate height. On*

*moderately fertile stations with a site index of 12 m at 25 years, merchantable volume yield is estimated at 629 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> at 70 years, which represents a mean annual production of 9,0 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>. Norway spruce is a much more productive species than white spruce (*Picea glauca* [Moench] Voss). At 60 years, the anticipated difference in merchantable volume production between the two species is 26% in the sugar maple–basswood bioclimatic domain, 36% in the sugar maple–yellow birch domain, 47% in the balsam fir–yellow birch domain and 75% in the balsam fir–white birch domain. Unlike white spruce, Norway spruce seems as productive in the balsam fir bioclimatic domains as in the maple domains. It ranks among the most productive plantation species in Quebec.*

*Keywords : Forest certification, Norway spruce, exotic species, reforestation.*

# Remerciements

De nombreuses personnes ont contribué à cette étude dont les données ont été récoltées sur une période d'une quarantaine d'années. Les auteurs tiennent en premier lieu à souligner le travail réalisé par les premiers titulaires du projet, soit feu M. Hassanali Bolghari et feu M. Valère Bertrand, auteurs des premières tables de rendement pour les plantations au Québec. Nous tenons également à remercier M. René Kirouac, qui a mesuré les plantations depuis le tout début du projet jusqu'au moment de sa retraite en 1997. Nos remerciements s'adressent également à MM. Conrad Thomassin et Yvon Lévesque, pour la prise de mesures jusqu'au moment de leur retraite, il y a une dizaine d'années, ainsi qu'à l'équipe technique actuelle, soit MM. Guy Chantal, François Lacombe, Jean-Yves Montambault et Réjean Poliquin. Depuis 1995, la récolte de données dans le projet dit des effets réels des plantations a mobilisé des

personnes du Ministère de toutes les régions du Québec, et plus récemment, de diverses entreprises privées. Même si leur grand nombre fait en sorte qu'il nous serait difficile de toutes les nommer, nous tenons à les remercier très sincèrement. Nos remerciements vont également à Mme Jessica Bach pour les analyses statistiques liées au tarif de cubage, à Mme Nathalie Langlois pour la mise en forme du document, à Mme Denise Tousignant pour la révision linguistique et l'édition, à Mme Maripierre Jalbert pour le graphisme et la mise en page, à Mme Josianne DeBlois pour le travail effectué à titre d'éditrice associée, ainsi qu'aux examinateurs anonymes pour leurs commentaires et suggestions. Les travaux dont les résultats sont présentés dans ce document ont été réalisés dans le cadre du projet n° 112310037 de la Direction de la recherche forestière.



# Table des matières

Résumé .....	v
<i>Abstract</i> .....	vi
Remerciements .....	vii
Liste des tableaux .....	xi
Liste des figures .....	xiii
Liste des annexes .....	xv
Introduction .....	1
<b>Chapitre premier – Matériel et méthodes</b> .....	<b>3</b>
1.1 Tarif de cubage .....	3
1.1.1. Données .....	3
1.1.2. Modèles .....	4
1.1.2.1 Diamètre à hauteur de poitrine .....	4
1.1.2.2 Hauteur totale .....	4
1.1.2.3 Volume total .....	5
1.1.2.4 Équation de défilement de la tige .....	6
1.2 Relation entre la hauteur dominante et l'âge, et détermination de l'indice de qualité de station .....	8
1.2.1 Données .....	8
1.2.2 Modèles .....	8
1.3 Tables de rendement .....	10
1.3.1 Données .....	10
1.3.2 Modèles .....	11
1.4 Modèles de croissance .....	14
1.4.1 Données .....	14
1.4.2 Modèles .....	14
1.5 Validation des modèles .....	15
<b>Chapitre deux – Résultats</b> .....	<b>17</b>
2.1 Tarif de cubage .....	17
2.1.1 Diamètre à hauteur de poitrine .....	17
2.1.2 Hauteur totale .....	17
2.1.3 Volume total .....	17
2.1.4 Équation de défilement de la tige .....	18
2.2 Relation entre la hauteur dominante et l'âge, et détermination de l'indice de qualité de station .....	22
2.3 Tables de rendement .....	22
2.4 Modèles de croissance .....	23

<b>Chapitre trois – Discussion</b> .....	25
3.1 Tarif de cubage .....	25
3.2 Relation entre la hauteur dominante et l'âge .....	26
3.3 Tables de rendement .....	27
3.4 Modèles de croissance .....	30
3.5 Comparaisons de productivité avec l'épinette blanche .....	30
3.6 Popularité de l'épinette de Norvège .....	32
<b>Conclusion</b> .....	33
<b>Références bibliographiques</b> .....	35
<b>Annexes</b> .....	39

# Liste des tableaux

Tableau 1. Statistiques descriptives des tiges utilisées pour le tarif de cubage .....	3
Tableau 2. Répartition des tiges utilisées pour le tarif de cubage selon les classes de hauteur et de DHP ..	3
Tableau 3. Répartition du nombre de parcelles échantillonnées selon les domaines bioclimatiques et l'âge des plantations pour la modélisation de la relation entre la hauteur dominante et l'âge .	8
Tableau 4. Statistiques descriptives des variables utilisées pour la relation entre la hauteur dominante et l'âge des plantations .....	8
Tableau 5. Statistiques descriptives des variables explicatives des modèles des tables de rendement selon les domaines bioclimatiques .....	10
Tableau 6. Statistiques descriptives des variables explicatives des modèles de croissance selon les domaines bioclimatiques .....	14
Tableau 7. Paramètres et erreurs types des modèles de prévision de la hauteur totale et des volumes totaux avec et sans écorce .....	17
Tableau 8. Évaluation du modèle de prévision de la hauteur totale, par classe de hauteur totale et par classe de DHP (n : nombre d'observations) .....	17
Tableau 9. Évaluation du modèle de prévision du volume total sans écorce, par classe de hauteur totale et classe de DHP (n : nombre d'observations) .....	19
Tableau 10. Évaluation du modèle de prévision du volume total avec écorce, par classe de hauteur totale et classe de DHP (n : nombre d'observations) .....	19
Tableau 11. Valeur des paramètres des équations de défilement sous écorce et sur écorce .....	19
Tableau 12. Évaluation du diamètre sous écorce au carré ( $d^2$ ) marginal prédit à partir de l'équation de défilement .....	19
Tableau 13. Évaluation du volume total sans écorce ( $V_{t_{SE}}$ ) prédit à partir de l'équation de défilement .....	20
Tableau 14. Évaluation du volume marchand ( $V_m$ ) prédit à partir de l'équation de défilement .....	20
Tableau 15. Évaluation du diamètre sur écorce au carré ( $d^2_{sur_e}$ ) marginal prédit à partir de l'équation de défilement .....	20
Tableau 16. Évaluation du volume total avec écorce ( $V_{t_{AE}}$ ) prédit à partir de l'équation de défilement .....	21
Tableau 17. Évaluation du volume avec écorce pour un diamètre de 9 cm au fin bout ( $V_{9AE}$ ) prédit à partir de l'équation de défilement .....	21
Tableau 18. Paramètres et erreurs types (entre parenthèses) des modèles des tables de rendement .....	23
Tableau 19. Évaluation des modèles des tables de rendement (valeurs relatives entre parenthèses) .....	23
Tableau 20. Paramètres et erreurs types (entre parenthèses) des modèles de croissance .....	24
Tableau 21. Évaluation des modèles de croissance (valeurs relatives entre parenthèses) .....	24
Tableau 22. Comparaison des IQS <sub>25</sub> et des volumes marchands anticipés à 60 ans pour des plantations d'épinette blanche (EPB) et d'épinette de Norvège (EPO) selon les domaines bioclimatiques et pour quelques types écologiques les plus fréquents .....	31



## Liste des figures

Figure 1.	Schéma d'une tige et désignation des variables associées au tarif de cubage .....	4
Figure 2.	Volume total sans écorce d'une tige d'épinette de Norvège en plantation en fonction du DHP et de la hauteur totale .....	18
Figure 3.	Volume marchand d'une tige d'épinette de Norvège en plantation en fonction du DHP et de la hauteur totale .....	18
Figure 4.	Courbes d'indices de qualité de station de l'épinette de Norvège .....	22
Figure 5.	Comparaison de tarifs de cubage pour l'estimation du volume avec écorce de tiges d'épinette de Norvège avec un diamètre minimal au fin bout de 7 cm, pour 4 hauteurs totales ( $H$ ) différentes .....	25
Figure 6.	Comparaison du volume marchand estimé par les tarifs de cubage de Bolghari et Bertrand (1984) et celui de l'étude actuelle pour l'épinette de Norvège (EPO) ainsi que celui de Prégent <i>et al.</i> (2010) pour l'épinette blanche (EPB), pour 4 hauteurs totales ( $H$ ) différentes .....	25
Figure 7.	Hauteur dominante en fonction de l'âge de la plantation selon les tables de Bolghari et Bertrand (1984) et celles de l'étude actuelle pour les plantations d'épinette de Norvège selon divers $IQS_{25}$ .....	27
Figure 8.	Volume marchand estimé à partir des modèles des tables de rendement selon divers $IQS_{25}$ et espacements initiaux, pour les plantations d'épinette de Norvège .....	27
Figure 9.	DHP quadratique estimé à partir des modèles des tables de rendement selon divers $IQS_{25}$ et espacements initiaux, pour les plantations d'épinette de Norvège .....	28
Figure 10.	Volume marchand par tige estimé à partir des modèles des tables de rendement selon divers $IQS_{25}$ et espacements initiaux, pour les plantations d'épinette de Norvège .....	28
Figure 11.	Accroissement annuel moyen en volume marchand estimé à partir des modèles des tables de rendement selon divers $IQS_{25}$ et espacements initiaux, pour les plantations d'épinette de Norvège .....	29
Figure 12.	Surface terrière totale estimée à partir des modèles des tables de rendement selon divers $IQS_{25}$ et espacements initiaux, pour les plantations d'épinette de Norvège .....	29
Figure 13.	Volume marchand estimé en fonction de l'âge selon les tables de rendement de Bolghari et Bertrand (1984) et celles de l'étude actuelle, pour un espacement initial de 2,236 m et divers $IQS_{25}$ .....	30



# Liste des annexes

<b>Annexe 1.</b> Présentation de la méthode récursive utilisée pour la construction des modèles de croissance .....	39
<b>Annexe 2.</b> Abaque d'estimation du volume total sans écorce (dm <sup>3</sup> ) d'une tige d'épinette de Norvège en plantation en fonction du DHP et de la hauteur totale .....	40
<b>Annexe 3.</b> Abaque d'estimation du volume total avec écorce (dm <sup>3</sup> ) d'une tige d'épinette de Norvège en plantation en fonction du DHP et de la hauteur totale .....	41
<b>Annexe 4.</b> Abaque d'estimation du volume marchand (dm <sup>3</sup> ) d'une tige d'épinette de Norvège en plantation en fonction du DHP et de la hauteur totale .....	42
<b>Annexe 5.</b> Abaque d'estimation du volume sans écorce (dm <sup>3</sup> ) d'une tige d'épinette de Norvège en plantation en fonction du DHP et de la hauteur totale, pour un diamètre de 12 cm au fin bout .....	44
<b>Annexe 6.</b> Abaque d'estimation du volume sans écorce (dm <sup>3</sup> ) d'une tige d'épinette de Norvège en plantation en fonction du DHP et de la hauteur totale, pour un diamètre de 15 cm au fin bout .....	46
<b>Annexe 7.</b> Abaque d'estimation du volume sans écorce (dm <sup>3</sup> ) d'une tige d'épinette de Norvège en plantation en fonction du DHP et de la hauteur totale, pour un diamètre de 18 cm au fin bout .....	48
<b>Annexe 8.</b> Abaque d'estimation du volume sans écorce (dm <sup>3</sup> ) d'une tige d'épinette de Norvège en plantation en fonction du DHP et de la hauteur totale, pour un diamètre de 21 cm au fin bout .....	50
<b>Annexe 9.</b> Abaque d'estimation du volume sans écorce (dm <sup>3</sup> ) d'une tige d'épinette de Norvège en plantation en fonction du DHP et de la hauteur totale, pour un diamètre de 24 cm au fin bout .....	52
<b>Annexe 10.</b> Abaque d'estimation du volume avec écorce (dm <sup>3</sup> ) d'une tige d'épinette de Norvège en plantation en fonction du DHP et de la hauteur totale, pour un diamètre de 9 cm au fin bout .....	54
<b>Annexe 11.</b> Abaque d'estimation du volume avec écorce (dm <sup>3</sup> ) d'une tige d'épinette de Norvège en plantation en fonction du DHP et de la hauteur totale, pour un diamètre de 12 cm au fin bout .....	56
<b>Annexe 12.</b> Abaque d'estimation du volume avec écorce (dm <sup>3</sup> ) d'une tige d'épinette de Norvège en plantation en fonction du DHP et de la hauteur totale, pour un diamètre de 15 cm au fin bout .....	58
<b>Annexe 13.</b> Abaque d'estimation du volume avec écorce (dm <sup>3</sup> ) d'une tige d'épinette de Norvège en plantation en fonction du DHP et de la hauteur totale, pour un diamètre de 18 cm au fin bout .....	60
<b>Annexe 14.</b> Abaque d'estimation du volume avec écorce (dm <sup>3</sup> ) d'une tige d'épinette de Norvège en plantation en fonction du DHP et de la hauteur totale, pour un diamètre de 21 cm au fin bout .....	62

<b>Annexe 15.</b> Abaque d'estimation du volume avec écorce (dm <sup>3</sup> ) d'une tige d'épinette de Norvège en plantation en fonction du DHP et de la hauteur totale, pour un diamètre de 24 cm au fin bout .....	64
<b>Annexe 16.</b> Abaque d'estimation de la hauteur dominante (m) d'une plantation d'épinette de Norvège en fonction de l'âge de la plantation et de l'indice de qualité de station .....	66
<b>Annexe 17.</b> Abaque d'estimation de la croissance annuelle en hauteur dominante (cm) d'une plantation d'épinette de Norvège en fonction de l'âge de la plantation et de l'indice de qualité de station .....	68
<b>Annexe 18.</b> Table de rendement pour les plantations d'épinette de Norvège avec un IQS <sub>25</sub> de 4 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement : 2 000 plants à l'hectare) .....	70
<b>Annexe 19.</b> Table de rendement pour les plantations d'épinette de Norvège avec un IQS <sub>25</sub> de 5 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement : 2 000 plants à l'hectare) .....	72
<b>Annexe 20.</b> Table de rendement pour les plantations d'épinette de Norvège avec un IQS <sub>25</sub> de 6 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement : 2 000 plants à l'hectare) .....	74
<b>Annexe 21.</b> Table de rendement pour les plantations d'épinette de Norvège avec un IQS <sub>25</sub> de 7 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement : 2 000 plants à l'hectare) .....	76
<b>Annexe 22.</b> Table de rendement pour les plantations d'épinette de Norvège avec un IQS <sub>25</sub> de 8 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement : 2 000 plants à l'hectare) .....	78
<b>Annexe 23.</b> Table de rendement pour les plantations d'épinette de Norvège avec un IQS <sub>25</sub> de 9 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement : 2 000 plants à l'hectare) .....	80
<b>Annexe 24.</b> Table de rendement pour les plantations d'épinette de Norvège avec un IQS <sub>25</sub> de 10 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement : 2 000 plants à l'hectare) .....	82
<b>Annexe 25.</b> Table de rendement pour les plantations d'épinette de Norvège avec un IQS <sub>25</sub> de 11 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement : 2 000 plants à l'hectare) .....	84
<b>Annexe 26.</b> Table de rendement pour les plantations d'épinette de Norvège avec un IQS <sub>25</sub> de 12 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement : 2 000 plants à l'hectare) .....	86
<b>Annexe 27.</b> Table de rendement pour les plantations d'épinette de Norvège avec un IQS <sub>25</sub> de 13 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement : 2 000 plants à l'hectare) .....	88
<b>Annexe 28.</b> Table de rendement pour les plantations d'épinette de Norvège avec un IQS <sub>25</sub> de 14 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement : 2 000 plants à l'hectare) .....	90
<b>Annexe 29.</b> Table de rendement pour les plantations d'épinette de Norvège avec un IQS <sub>25</sub> de 15 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement : 2 000 plants à l'hectare) .....	92
<b>Annexe 30.</b> Table de rendement pour les plantations d'épinette de Norvège avec un IQS <sub>25</sub> de 16 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement : 2 000 plants à l'hectare) .....	94

# Introduction

L'épinette de Norvège (*Picea abies* [L.] Karst.) est une espèce originaire d'Europe où elle est communément appelée épicéa commun. Son aire naturelle de répartition s'étend du 42° au 60° degré de latitude nord, et du niveau de la mer jusqu'à 2 100 m d'altitude. On la retrouve des montagnes de la Roumanie jusqu'au nord de la Scandinavie et le nord-ouest de la Russie (Nolin et Corriveau 1981). C'est une espèce de montagne dans le sud de son aire de répartition alors qu'au nord, on la retrouve dans les plaines. Son aire naturelle en France est restreinte aux Alpes, au Jura et à quelques îlots dans les Vosges (Pain 1996). En Europe, il s'agit probablement de l'espèce résineuse la plus importante au point de vue économique, et la plus fréquente dans les reboisements (Chui 1995, Riou-Nivert 1998); elle est utilisée notamment par l'industrie des pâtes et papiers et du sciage.

Les premières plantations d'épinette de Norvège en Amérique du Nord auraient été installées vers 1860 (MacArthur 1964). Cette espèce a été fréquemment plantée depuis la fin du 19<sup>e</sup> siècle dans l'est de l'Amérique du Nord (Jokela *et al.* 1986) et est devenue l'espèce exotique la plus utilisée pour le reboisement dans de nombreux États du Nord-Est américain (Rudolph et Slabaugh 1958, cité dans MacArthur 1964) ainsi qu'au Québec. Au Québec, en Ontario et dans les provinces maritimes, les premières plantations ont été établies au début du 20<sup>e</sup> siècle (Chui 1995, Gordon *et al.* 1989). Au Québec, on note une première livraison de plants de cette espèce dès les premières productions de la pépinière de Berthierville, soit en 1909 (Castonguay 2006). Toutefois, la première plantation connue de cette espèce a été établie en 1913 près de la ville de Grand-Mère par la *Laurentide Company*, avec des semences importées d'Europe (Cunningham 1953). La provenance exacte des semences à l'origine des vieilles plantations du Québec est généralement inconnue. Selon MacArthur (1964), les sources probables sont la Suède, l'Allemagne et les plantations des États du Nord-Est américain. De 1964 à 1994, environ 191 millions de plants d'épinette de Norvège ont été mis en terre au Québec, soit 9 % des plantations établies. Au cours de cette période, environ 30 % des plantations ont été installées sur les terres publiques et 70 % sur les terres privées (Cornellier 1995). La popularité de l'épinette de Norvège a diminué considérablement depuis. En 2010, l'espèce ne représentait plus que 1 % des

plants mis en terre en 2010, bien qu'il s'agisse encore de l'espèce exotique la plus utilisée dans les reboisements au Québec (Mottet *et al.* 2010).

L'épinette de Norvège est relativement plastique et s'accommode de conditions climatiques variées, pourvu que les précipitations annuelles soient supérieures à 800 mm et bien réparties dans l'année (Pain 1996). Elle tolère une bonne variété de sols, bien qu'elle préfère ceux qui demeurent frais, humides et bien aérés. Les sols très secs ou très humides devraient être évités (Cauboue et Malenfant 1988, MacArthur 1964, Spurr 1956). La croissance sur des sols argileux est plus faible en bas âge (Gordon *et al.* 1989, MacArthur 1964, Stiel 1958), mais elle peut être très bonne à des âges plus avancés (Johansson 1996) pourvu que le drainage soit suffisant (Gordon *et al.* 1989). Dans l'est de la France, l'altitude est le facteur le plus influent sur la qualité de la station, avec des baisses importantes de productivité à partir de 500 m d'altitude (Seynave *et al.* 2004). À l'Île-du-Prince-Édouard, des problèmes de croissance sont notés sur les stations à éricacées (Glen 1994). Camirand *et al.* (1983) ont étudié les relations entre les caractéristiques du sol et la productivité des plantations au Québec. Ils ont conclu que les meilleures stations étaient de bien à modérément bien drainées, avec un sol ayant une teneur en limons et argiles d'au moins 40 %, un pH variant de 4,0 à 5,0, une capacité d'échange cationique supérieure à 20 mEq/100 g et une bonne disponibilité en potassium, calcium et magnésium. C'est une espèce de demi-ombre qui peut supporter temporairement un certain ombrage dans son jeune âge (Pain 1996).

L'épinette de Norvège est une espèce très productive. Des productions annuelles d'environ 10 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> et plus ont fréquemment été rapportées pour l'est de l'Amérique du Nord (Hosley 1936, Hughes et Loucks 1962, MacArthur 1964, Hughes 1970, Nicholson 2006). Aucune forêt naturelle au Québec ne peut atteindre un tel niveau de productivité. Les plantations d'épinette de Norvège sont généralement plus productives que celles d'épinette blanche (Bolghari 1977, Holst 1963, Hosley 1936, MacArthur 1959, Baldwin 1949, cité dans MacArthur 1964, Wright 1956). Par contre, Stiel (1958) rapporte pour l'Ontario une meilleure productivité pour l'épinette blanche. Cela pourrait être lié au climat plus continental et plus sec que l'on

y retrouve par rapport au Québec, aux provinces maritimes et aux États de la Nouvelle-Angleterre (Holst 1963, MacArthur 1964).

De bonnes connaissances sur la croissance et le rendement des plantations d'épinette de Norvège permettent d'assurer une gestion efficace de cette ressource. Le tarif de cubage, les courbes d'indices de qualité de station (IQS) et les tables de rendement utilisés jusqu'à maintenant au Québec provenaient des travaux de Bolghari et Bertrand (1984). Dans notre étude, nous proposons les outils suivants : un tarif de cubage incluant une fonction de défilement permettant d'estimer le volume d'une tige ou d'une portion quelconque de la tige, des courbes d'IQS, des tables de rendement et des modèles de croissance. Les méthodes utilisées s'apparentent à celles utilisées par Prigent *et al.* (2010) pour l'épinette blanche. Par contre, nous utilisons un modèle de défilement pour estimer les volumes pour différentes sections de la tige, ce qui a notamment l'avantage de permettre d'estimer, avec une seule équation, le volume de n'importe quel tronçon, le volume total de la tige ainsi que le volume marchand. De plus, l'équation de défilement permet d'éviter certaines incohérences de l'ancienne approche. Ainsi, il est possible de choisir une forme d'équation qui permet d'obtenir une estimation du diamètre avec écorce égale à la vraie valeur du DHP mesuré lorsque la hauteur est fixée à 1,30 m. De même, lorsque la hauteur d'estimation équivaut à la hauteur totale de l'arbre, le diamètre estimé équivaut à zéro.

Le tarif de cubage est dit à diamètre et à hauteur variable d'utilisation puisqu'il permet d'estimer le volume entre n'importe quelles hauteurs ou n'importe quels diamètres le long de la tige. Il permet en outre de produire des tables de rendement et des modèles de croissance non seulement pour la portion dite totale (toutes les tiges) et marchande (DHP > 9 cm), mais également pour les tiges de plus de 12 cm et celles de plus de 15 cm. Les modèles de croissance permettent d'estimer les caractéristiques futures d'une plantation à partir de ses caractéristiques actuelles. Tout comme les tables de rendement, ces modèles sont mis au point à l'échelle du peuplement et non pas à celle de l'arbre. La révision récente des tables de rendement de l'épinette blanche (Prigent *et al.* 2010) avait permis de déceler des sous-estimations importantes de rendement associées aux tables de Bolghari et Bertrand (1984). Il est important d'actualiser ces tables de rendement, et surtout, de corriger la sous-évaluation du rendement dont nous présenterons la cause principale à la discussion. Il faut noter que dans le contexte de la certification forestière, il est essentiel que la productivité d'une espèce exotique, telle l'épinette de Norvège, soit supérieure à celle des espèces indigènes pour que son utilisation soit permise. Une section de ce mémoire servira à comparer la productivité de l'épinette de Norvège et de l'épinette blanche. Par ailleurs, nous tentons de conserver autant que possible la même structure de document que celui consacré à l'épinette blanche, afin d'en faciliter la lecture et les comparaisons éventuelles.

# Chapitre premier

## Matériel et méthodes

### 1.1 Tarif de cubage

#### 1.1.1. Données

Les 292 tiges utilisées pour construire le tarif de cubage proviennent de 193 parcelles inventoriées dans 50 plantations situées dans la forêt décidue (63 % des tiges), mélangée (12 % des tiges) ou boréale (25 % des tiges). Toutes les tiges de la forêt boréale ont été échantillonnées dans le domaine de la sapinière à bouleau blanc; par conséquent, aucune ne provenait du domaine de la pessière à mousses, les plantations de cette espèce y étant très rares. Ces plantations ont été établies de 1935

à 1981 avec des plants produits à racines nues et à des densités de reboisement variant de 1 450 à 4 275 plants à l'hectare. Elles étaient âgées de 9 à 76 ans au moment de la prise de mesures. Les arbres mesurés provenaient de toutes les classes de dominance du couvert, mais aucun arbre fourchu n'a été retenu. Le tableau 1 présente les statistiques descriptives des différentes variables utilisées pour construire le tarif de cubage. La hauteur des arbres varie de 1,9 à 33,2 m et le DHP, de 1,3 à 49,9 cm. La répartition des tiges selon les classes de hauteur et de DHP est présentée au tableau 2.

Tableau 1. Statistiques descriptives des tiges utilisées pour le tarif de cubage.

Variable	n	Minimum	Moyenne	Maximum	Écart type
Hauteur (m)	292	1,9	13,1	33,2	5,9
DHP (cm)	292	1,3	15,0	49,9	7,2
Hauteur dominante (m)*	193	2,0	16,2	32,9	5,2
DHP des arbres dominants (cm)*	193	1,5	19,7	35,9	5,1
Volume total avec écorce (dm <sup>3</sup> )	292	0,7	195,9	3 115,4	345,6
Volume total sans écorce (dm <sup>3</sup> )	292	0,3	175,5	2 941,3	326,7

\* La hauteur dominante correspond à la hauteur moyenne des 100 plus hautes tiges à l'hectare de la parcelle. Le DHP des arbres dominants correspond au DHP moyen de ces mêmes tiges.

Tableau 2. Répartition des tiges utilisées pour le tarif de cubage selon les classes de hauteur et de DHP.

Classe de DHP (cm)	Classe de hauteur (m)											Total
	[1, 4[	[4, 7[	[7, 10[	[10, 13[	[13, 16[	[16, 19[	[19, 22[	[22, 25[	[25, 28[	[28, 31[	[31, 34[	
[1, 3[	9											9
[3, 6[	10	11										21
[6, 9[	1	13	3	4								21
[9, 12[		7	16	15	6							44
[12, 15[			8	16	19	8						51
[15, 18[			3	16	15	27	2					63
[18, 21[			3	6	6	18	6					39
[21, 24[					4	17	3		1			25
[24, 27[						5	3		1			9
[27, 30[					1					4		5
[30, 33[												0
[33, 36[												0
[36, 39[												0
[39, 42[												0
[42, 45[										2		2
[45, 48[												0
[48, 51[										1	2	3
Total	20	31	33	57	51	75	14	0	2	7	2	292

Le diamètre avec écorce et l'épaisseur d'écorce ont été évalués aux hauteurs suivantes : 15, 45, 85, 130, 200 cm du sol, et par intervalles de 1 m par la suite. À chacune de ces hauteurs, deux mesures de diamètre et d'épaisseur d'écorce ont été prises perpendiculairement, et leur moyenne géométrique a été ensuite calculée. Le diamètre et l'épaisseur d'écorce ont été mesurés au millimètre près, à l'aide d'un compas forestier et d'une jauge d'épaisseur d'écorce, respectivement. À partir de 1992, le diamètre a été mesuré à l'aide d'un gallon diamétral. Lorsqu'un renflement, un nœud ou une branche empêchait l'évaluation à l'un de ces niveaux, les mesures ont été prises juste au-dessus ou juste au-dessous de la déformation, et la hauteur exacte a été notée. La hauteur totale et le niveau de prise de mesure le long de la tige ont été évalués au centimètre près avec une règle graduée.

Le cubage des tiges échantillonnées a été réalisé avec la méthode DÉBUTRONC (Désaulniers 1989). Le défilement de la tige  $y$  est défini par une fonction mathématique entre le rayon du tronc de l'arbre et la hauteur à laquelle ce rayon correspond, dont les paramètres sont estimés individuellement pour chaque arbre. 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 ont été estimés pour des rayons au bout apical pouvant varier de 0 cm (volume total) à 18 cm pour les plus grosses tiges (soit 36 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 sol; le volume des branches est exclu. Les volumes dans les sections subséquentes sont estimés mais considérés comme observés, donc sans erreur. La figure 1 décrit la codification et la signification des variables associées au tarif de cubage.

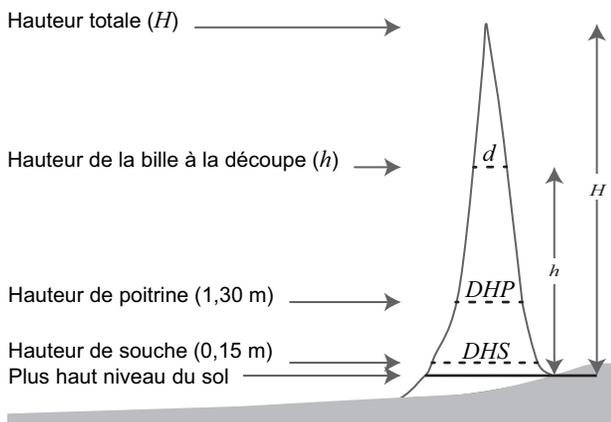


Figure 1. Schéma d'une tige et désignation des variables associées au tarif de cubage.

## 1.1.2. Modèles

### 1.1.2.1 Diamètre à hauteur de poitrine

La relation entre le diamètre à hauteur de poitrine (DHP,  $h = 1,3$  m) et le diamètre à hauteur de souche (DHS,  $h = 0,15$  m) peut être utile, notamment pour reconstituer un peuplement après une coupe alors que seules les souches sont présentes. Un modèle de régression linéaire simple, suggéré par Prégent *et al.* (2001), a été utilisé pour estimer le DHP à partir du DHS :

$$dhp_{ik} = \beta_0 + \beta_1 dhs_{ik} + \varepsilon_{ik} \quad [1]$$

où

$dhp_{ik}$  = diamètre à hauteur de poitrine de l'arbre  $k$  de la parcelle  $i$  (cm),

$dhs_{ik}$  = diamètre à hauteur de souche de l'arbre  $k$  de la parcelle  $i$  (cm),

$\beta_0, \beta_1$  = coefficients de régression, et

$\varepsilon_{ik}$  = erreur résiduelle associée à l'arbre  $k$  de la parcelle  $i$ ,  $\varepsilon_{ik} \sim N(0, \sigma^2)$ .

Des tests préliminaires ayant montré que l'effet aléatoire de parcelle était négligeable, celui-ci n'a donc pas été inclus dans le modèle. Les coefficients de l'équation [1] ont été estimés avec la procédure REG du progiciel SAS (SAS Institute 2011a).

### 1.1.2.2 Hauteur totale

La hauteur est une variable relativement longue à mesurer et par conséquent, assez coûteuse à obtenir. Cette variable est rarement mesurée sur tous les arbres d'une unité d'échantillonnage et elle doit alors être estimée à partir d'une autre variable, généralement le DHP. L'ajout d'autres variables indépendantes au modèle d'estimation de la hauteur, telles que la hauteur moyenne des arbres dominants et le DHP moyen de ces mêmes arbres, permet généralement d'améliorer la qualité des modèles (Ung 1990).

Le modèle d'estimation de la hauteur de Prégent *et al.* (2010) et la fonction de Schumacher (Schumacher 1939) ont été testés pour estimer la hauteur totale d'un arbre en fonction du DHP ainsi que de la hauteur moyenne et du DHP moyen des arbres dominants. Ces équations sont non linéaires, asymptotiques, et ont aussi la capacité de prédire une hauteur plus grande que la hauteur moyenne

des arbres dominants. Cette dernière caractéristique est essentielle afin de ne pas sous-estimer la hauteur des plus grosses tiges.

Le coefficient de détermination, le biais moyen, la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne et une analyse graphique des résidus ont été utilisés pour déterminer le modèle qui s'ajustait le mieux aux données. Le biais est la moyenne des différences entre les valeurs observées et les valeurs prédites, tandis que l'erreur est la racine carrée de la moyenne des différences au carré entre ces mêmes valeurs. Le modèle de Schumacher a été retenu :

$$H_{ik} = 1,3 + (\beta_1 + \beta_2 H_{100,i}) e^{-(\beta_3 + \beta_4 dhp_{100,i}) dhp_{ik}^{\beta_5}} + \varepsilon_{ik} \quad [2]$$

où

$H_{ik}$  = hauteur totale de l'arbre  $k$  de la parcelle  $i$  (m),

$dhp_{ik}$  = diamètre à hauteur de poitrine de l'arbre  $k$  de la parcelle  $i$  (cm),

$dhp_{100,i}$  = DHP moyen des 100 plus hauts arbres à l'hectare de la parcelle  $i$  (cm),

$H_{100,i}$  = hauteur moyenne des 100 plus hauts arbres à l'hectare de la parcelle  $i$  (m),

$\beta_1, \dots, \beta_5$  = coefficients de régression, et

$\varepsilon_{ik}$  = erreur résiduelle associée à l'arbre  $k$  de la parcelle  $i$ ,  $\varepsilon_{ik} \sim N(0, \sigma^2)$ .

Puisque des tests préliminaires ont montré que l'effet aléatoire de parcelle était négligeable, celui-ci n'a pas été pris en compte. Les paramètres du modèle ont été estimés avec la procédure MODEL de SAS (SAS Institute 2011b). Dans Prégent et al. (2010), la hauteur totale a été étalonnée avec les modèles de volume avec et sans écorce dans un système d'équations simultanées. Dans la présente étude, étant donné le nombre de données manquantes ( $n = 99$ ) pour la hauteur dominante et le DHP des dominants, la hauteur totale a été modélisée séparément des volumes. La distribution des erreurs résiduelles et leur variance ont été vérifiées graphiquement.

### 1.1.2.3 Volume total

L'estimation du volume total de la tige avec ou sans écorce a été testée avec les 8 modèles de Prégent et al. (2001). Puisque le volume total avec écorce est lié à celui sans écorce, l'étalonnage de ces

deux modèles s'est fait simultanément à l'aide de la procédure MODEL de SAS, avec la méthode d'estimation FIML (*Full Information Maximum Likelihood*, SAS Institute 2011b). L'homoscédasticité des résidus n'étant pas respectée pour ces variables, la variance de chacun des modèles a été modélisée en fonction du DHP. Les modèles qui s'ajustent le mieux aux données sont :

$$Vt_{AE,ik} = \beta_{AE,1} dhp_{ik}^{\beta_{AE,2}} H_{ik}^{\beta_{AE,3}} + \varepsilon_{AE,ik} \quad [3]$$

$$Vt_{SE,ik} = \beta_{SE,1} dhp_{ik}^{\beta_{SE,2}} H_{ik}^{\beta_{SE,3}} + \varepsilon_{SE,ik} \quad [4]$$

où

$Vt_{AE,ik}$  = volume total avec écorce de l'arbre  $k$  de la parcelle  $i$  (dm<sup>3</sup>),

$Vt_{SE,ik}$  = volume total sans écorce de l'arbre  $k$  de la parcelle  $i$  (dm<sup>3</sup>),

$dhp_{ik}$  = diamètre à hauteur de poitrine de l'arbre  $k$  de la parcelle  $i$  (cm),

$H_{ik}$  = hauteur totale de l'arbre  $k$  de la parcelle  $i$  (m),

$\beta_{AE,1}, \beta_{AE,2}, \beta_{AE,3}$  = coefficients de régression pour le volume avec écorce,

$\beta_{SE,1}, \beta_{SE,2}, \beta_{SE,3}$  = coefficients de régression pour le volume sans écorce, et

$\varepsilon_{AE,ik}, \varepsilon_{SE,ik}$  = erreurs résiduelles associées à l'arbre  $k$  de la parcelle  $i$ ,

$$(\varepsilon_{AE,ik}, \varepsilon_{SE,ik})^T \sim N_2(0, \Sigma_{ik}),$$

$$\Sigma_{ik} = \begin{bmatrix} \sigma_{AE,ik}^2 & \Psi \\ \Psi & \sigma_{SE,ik}^2 \end{bmatrix}, \text{ où } \Psi \text{ est la}$$

covariance entre les erreurs résiduelles

$$\text{d'un arbre, } \sigma_{AE,ik}^2 = \sigma_{AE}^2 dhp_{ik}^{\alpha_{AE}},$$

$$\sigma_{SE,ik}^2 = \sigma_{SE}^2 dhp_{ik}^{\alpha_{SE}} \text{ et } \alpha_{AE} \text{ et } \alpha_{SE} \text{ sont des paramètres à estimer.}$$

Le choix des modèles a été fait à partir du coefficient de détermination, du biais moyen, de la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne et d'une analyse graphique des résidus. La distribution des erreurs résiduelles et leur variance ont été vérifiées graphiquement.

### 1.1.2.4 Équation de défilement de la tige

L'équation de défilement permet de prédire le diamètre ( $d$ ) sur ou sous écorce à n'importe quel point sur la tige, en fonction de la hauteur du point ( $h$ ), du DHP et de la hauteur totale de l'arbre ( $H$ ). L'intégration mathématique des sections entre deux points le long de la tige permet d'estimer le volume d'un billon de l'arbre. Il est donc possible d'obtenir le volume d'un arbre pour n'importe quelle hauteur de souche et n'importe quelle hauteur d'utilisation.

On retrouve dans la littérature plusieurs formes d'équations de défilement : les modèles segmentés, les modèles à exposant variable et les modèles à forme variable. Li et Weiskittel (2010) et Rojo *et al.* (2005) ont comparé les performances de plusieurs formes de modèles, et ceux à forme ou à exposant variables sont souvent les meilleurs. Dans cette étude, 6 modèles à exposant variable (Kozak 1997, Kozak 2004, Lee *et al.* 2003, Sharma et Oderwald 2001, Sharma et Parton 2009) et 3 à forme variable (Bi 2000, Valentine et Gregoire 2001, Zakrzewski 1999) ont été testés. À ceux-ci ont été ajoutées 4 modifications au modèle de Sharma et Oderwald (2001) présentées dans Schneider *et al.* (2013).

Les modèles de défilement n'estiment pas tous la même variable réponse. Le diamètre (Kozak 1997, Kozak 2004, Lee *et al.* 2003), le diamètre au carré (Schneider *et al.* 2013, Sharma et Oderwald 2001), le diamètre relatif (Bi 2000, Sharma et Parton 2009) ou la surface de la section (Valentine et Gregoire 2001, Zakrzewski 1999) sont les diverses variables généralement estimées. Dans cette étude, nous avons retenu le diamètre au carré. Un modèle pour le diamètre au carré produit des prévisions non biaisées de l'aire de la surface de la section (Bruce *et al.* 1968, Gregoire *et al.* 2000), à partir de laquelle le volume d'un billon est calculé. Les modèles testés ont été modifiés en conséquence. De plus, un paramètre  $\alpha_0$  a été ajouté à toutes les équations, si nécessaire, pour tenir compte de l'épaisseur de l'écorce.

Tous les modèles testés ont été ajustés à l'aide d'un modèle de régression non linéaire avec effets aléatoires d'arbre et de parcelle. Étant donné la complexité des équations et l'inclusion d'effets aléatoires, la première étape a consisté à ajuster les équations en supposant que tous les effets aléatoires et les corrélations intra-arbre étaient nuls, et que les variances intra-arbre étaient homogènes. Le modèle a été sélectionné à partir du critère d'information d'Akaike (AIC) et une analyse graphique des résidus. Dans une seconde étape, une fonction de variance a été ajoutée afin de modéliser l'hétérogénéité des variances. Les fonctions présentées dans

de-Miguel *et al.* (2012), Lejeune *et al.* (2009), Li et Weiskittel (2010), Schneider *et al.* (2013) et Valentine et Gregoire (2001) ont été testées, et l'AIC a été utilisé pour déterminer celle qui s'ajustait le mieux aux données. La troisième étape a consisté à ajouter une fonction de corrélation pour tenir compte de la dépendance entre les observations d'un même arbre. En dernier lieu, les effets aléatoires d'arbre et de parcelle ont été ajoutés au modèle.

Le modèle de défilement retenu est celui inspiré du modèle 02 de Kozak (2004), dans lequel l'exposant 4 sur la variable  $z$  a été remplacé par un paramètre ( $\beta_7$ ) afin de mieux s'ajuster aux données. De plus, le paramètre  $\alpha_2$  sur la hauteur totale et le paramètre  $\beta_6$  sur  $X$  ayant été estimés à 0 dans tous les tests préliminaires, ceux-ci ont été retirés. Il n'a pas été possible de faire converger l'équation en incluant simultanément des effets aléatoires sur les paramètres  $\alpha_0$  et  $\beta_0$ . En outre, les prévisions étaient biaisées quand un effet aléatoire de parcelle était inclus dans le modèle. Un seul effet aléatoire d'arbre sur le paramètre  $\beta_0$  a donc été inclus dans le modèle, avec le résultat suivant :

$$d_{ijk}^2 = \alpha_0 dhp_{ik}^{\alpha_1} \times X_{ijk}^{(\beta_0 + b_{ik}) + \beta_1 z_{ijk}^{\beta_7} + \beta_2 (1/e^{dhp_{ik}/H_{ik}}) + \beta_3 X_{ijk}^{0.1} + \beta_4 (1/dhp_{ik}) + \beta_5 \Gamma_{ik}^{0.ijk}} + \varepsilon_{ijk} \quad [5]$$

où

$$d_{ijk}^2 = \text{diamètre sous écorce au carré, noté } d^2 \text{ (cm}^2\text{), à une hauteur } h_{ijk} \text{ (m), pour la section } j \text{ de l'arbre } k \text{ de la parcelle } i,$$

$$dhp_{ik} = \text{diamètre à hauteur de poitrine de l'arbre } k \text{ de la parcelle } i \text{ (cm),}$$

$$H_{ik} = \text{hauteur totale de l'arbre } k \text{ de la parcelle } i \text{ (m),}$$

$$\alpha_0, \alpha_1, \beta_7 = \text{coefficients de régression,}$$

$$\beta_0, \dots, \beta_5$$

$$z_{ijk} = h_{ijk} / H_{ik} ,$$

$$X_{ijk} = \frac{1 - z_{ijk}^{1/3}}{1 - p_{ik}^{1/3}} , \text{ où } p_{ik} = 1,3 / H_{ik} ,$$

$$Q_{ijk} = 1 - z_{ijk}^{1/3} ,$$

$$b_{ik} = \text{effet aléatoire d'arbre, } b_{ik} \sim N\left(0, \sigma_{\text{arbre}}^2\right), \text{ et}$$

$$\varepsilon_{\bar{u}} = \text{erreur résiduelle,}$$

$$\boldsymbol{\varepsilon}_{ik} = (\varepsilon_{i1k}, \dots, \varepsilon_{io_{ik}k})^T \sim N_{o_{ik}}(\mathbf{0}, \boldsymbol{\Psi}_{ik}^{1/2} \boldsymbol{\Lambda}_{ik} \boldsymbol{\Psi}_{ik}^{1/2}),$$

où  $o_{ik}$  est le nombre de sections sur l'arbre  $k$  de la parcelle  $i$ ,  $\boldsymbol{\Psi}_{ik}$  est une matrice diagonale dont les éléments sont les variances intra-arbre, et  $\boldsymbol{\Lambda}_{ik}$  est une matrice de corrélation.

Les corrélations intra-arbre (les éléments de la matrice  $\boldsymbol{\Lambda}_{ik}$ ) ont été modélisées à l'aide d'une structure autorégressive continue de premier ordre (CAR(1)) :

$$\text{Corr}(\varepsilon_{ijk}, \varepsilon_{ij'k}) = \rho_{res}^{|h_{ijk} - h_{ij'k}|} \quad [6]$$

où  $\rho_{res}$  est le paramètre de corrélation. La forme de la fonction de variance (les éléments de la matrice  $\boldsymbol{\Psi}_{ik}$ ) utilisée est :

$$\text{Var}(\varepsilon_{ijk}) = \sigma_{res}^2 (\hat{d}_{ijk}^2)^{2\delta} \quad [7]$$

où

$\sigma_{res}^2$  = variance résiduelle,

$\hat{d}_{ijk}^2$  = diamètre sous écorce au carré, noté  $d^2$  (cm<sup>2</sup>), prédit par l'équation [5], et

$\delta$  = paramètre de la fonction de variance à estimer.

L'équation [5] a aussi été ajustée pour estimer le diamètre sur écorce au carré (noté  $d_{sur\ e}^2$ ), en fixant le paramètre  $\alpha_0 = 1$ . Les postulats de régression ont été vérifiés graphiquement. Si l'hétérogénéité des variances était bien prise en compte par la fonction de variance, les résidus devaient suivre une distribution normale et avoir des variances homogènes. Les régressions ont été effectuées avec la librairie *nlme* du logiciel R (Pinheiro et al. 2012).

Le modèle de défilement pouvait avoir des problèmes de multicolinéarité, en raison des nombreuses variables explicatives fortement corrélées (Kozak 1997, Rojo et al. 2005). La multicolinéarité cause des estimations de paramètres instables avec des grandes erreurs types et, par conséquent, des biais dans les inférences statistiques. L'indice de conditionnement peut être utilisé pour diagnostiquer un problème de multicolinéarité dans les modèles non linéaires mixtes (Bonate 1999, Schneider et al. 2013). Plus l'indice est élevé, plus le problème de multicolinéarité est important.

Il n'existe pas de seuil pour détecter un problème grave, mais une valeur de 30 est souvent utilisée (Belsley et al. 2004).

L'équation de défilement sert principalement à obtenir des prévisions marginales du diamètre au carré, des prévisions généralement obtenues en fixant les effets aléatoires à 0. Toutefois, avec un modèle non linéaire mixte, des prévisions marginales ne peuvent pas être obtenues en utilisant seulement la partie à effets fixes de l'équation, comme on le fait avec un modèle linéaire mixte (McCulloch et al. 2008). Une prévision marginale a été obtenue par l'intégrale de l'espérance conditionnelle du diamètre au carré, sur l'ensemble de la distribution des effets aléatoires. Puisque cette intégrale est complexe, une approximation a été obtenue en linéarisant le modèle avec une série de Taylor de second degré autour de l'espérance des effets aléatoires, et en calculant l'espérance mathématique de cette approximation (Fortin et al. 2013) :

$$\hat{d}_{ijk}^2 \approx \hat{d}_{ijk,0}^2 + \frac{1}{2} W_{ijk} \hat{\sigma}_{arbre}^2$$

$$= \hat{d}_{ijk,0}^2 + \frac{1}{2} \hat{d}_{ijk,0}^2 \times \left[ \ln \left( \frac{1 - z_{ijk}^{1/3}}{1 - p_{ik}^{1/3}} \right) \right]^2 \hat{\sigma}_{arbre}^2 \quad [8]$$

où

$\hat{d}_{ijk}^2$  = prévision marginale du diamètre au carré (cm<sup>2</sup>),

$\hat{d}_{ijk,0}^2$  = diamètre au carré prédit avec l'équation [5] en utilisant  $b_{ik} = 0$  (cm<sup>2</sup>),

$\hat{\sigma}_{arbre}^2$  = variance estimée de l'effet aléatoire d'arbre de l'équation [5],

$z_{ijk} = h_{ijk} / H_{ik}$ ,

$p_{ik} = 1,3 / H_{ik}$ , et

$W_{ijk}$  = dérivée seconde de l'équation [5] par rapport à  $b_{ik}$  évaluée à  $b_{ik} = 0$ .

Le volume prédit d'une tige a été obtenu par intégration numérique de l'équation [8]. Pour le volume total ( $Vt$ ), l'intégration était de la hauteur de souche (0,15 m) à la hauteur totale, tandis que pour le volume marchand ( $Vm$ ), elle était de la hauteur de souche à la hauteur marchande ( $h$  à  $d = 9$  cm). La hauteur marchande prédite a été obtenue en inversant numériquement l'équation [8] pour estimer  $h_{ijk}$  à  $d_{ijk}^2 = 9^2$ .

Les prévisions du volume total et du volume marchand ont été comparées aux volumes observés. Ces derniers ont été obtenus à partir des sections des tiges en utilisant la formule de Smalian (Rondeux 1993). Le volume total observé a été obtenu en additionnant toutes les sections de la hauteur de souche à la hauteur totale. Le volume marchand observé, quant à lui, a été obtenu en additionnant toutes les sections de la hauteur de souche jusqu'à la hauteur marchande, celle-ci obtenue par interpolation. Les volumes observés calculés par la méthode DÉBUTRONC (Désaulniers 1989) n'ont pas été utilisés afin de ne pas introduire de biais causé par l'estimation avec une autre équation de défilement.

## 1.2 Relation entre la hauteur dominante et l'âge, et détermination de l'indice de qualité de station

### 1.2.1 Données

La hauteur dominante a été modélisée à l'aide d'un modèle de croissance prenant la forme d'une équation de différence. La valeur de la variable dépendante correspond à la croissance d'une variable donnée à la fin d'une période. Ainsi, il faut 2 mesurages pour obtenir une valeur de croissance, 3 mesurages pour en obtenir 2, et ainsi de suite. Nous disposons de données provenant de 141 parcelles, dont 51 avec 1 période de croissance, 54 avec 2 périodes, 29 avec 3 périodes, 6 avec

4 périodes et 1 avec 5 périodes de croissance, soit un total de 275 observations. La répartition des parcelles selon les domaines bioclimatiques et l'âge des plantations est présentée au tableau 3. La superficie des parcelles varie de 0,01 à 0,08 ha, et la très forte majorité d'entre elles ont une superficie de 0,04 ha. La hauteur dominante utilisée est la hauteur moyenne des 100 plus hautes tiges à l'hectare; pour une parcelle de 0,04 ha, par exemple, la hauteur dominante correspond à la hauteur moyenne mesurée sur les 4 plus hautes tiges. L'IQS est défini comme la hauteur dominante à un âge de référence donné. L'âge de référence utilisé pour cette étude est celui à partir de la mise en terre des plants, et la valeur utilisée est de 25 ans, soit près de l'âge moyen des plantations disponibles. Les principales statistiques descriptives des variables du modèle sont présentées au tableau 4. L'âge des plantations en début de période (temps 1) varie de 4 à 71 ans, et la hauteur dominante, de 1,3 à 30,7 m.

### 1.2.2 Modèles

Un modèle de croissance sous forme de différence a été utilisé pour modéliser la hauteur dominante en fonction de l'âge de la plantation. Cinq fonctions de forme sigmoïdale ont été testées dans cette étude : Chapman-Richards, Hossfeld II, Gompertz, Schumacher et Weibull. Ces modèles, ainsi que la méthode permettant d'obtenir les équations sous forme de différence, sont décrits dans

**Tableau 3.** Répartition du nombre de parcelles échantillonnées selon les domaines bioclimatiques et l'âge des plantations pour la modélisation de la relation entre la hauteur dominante et l'âge.

Domaine bioclimatique	Classe d'âge au premier mesurage (ans)						Total
	]8, 10]	]10, 20]	]20, 30]	]30, 40]	]40, 50]	]50, 60]	
Érablière à tilleul	1	6	18	5	2	0	32
Érablière à bouleau jaune	14	5	9	0	0	5	33
Sapinière à bouleau jaune	33	4	24	6	0	0	67
Sapinière à bouleau blanc	7	0	2	0	0	0	9
Pessière à mousses	0	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>55</b>	<b>15</b>	<b>53</b>	<b>11</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>141</b>

**Tableau 4.** Statistiques descriptives des variables utilisées pour la relation entre la hauteur dominante et l'âge des plantations.

Variable	n	Minimum	Moyenne	Maximum	Écart type
Hauteur dominante au temps 1 (m)	275	1,3	10,8	30,7	6,1
Âge de la plantation au temps 1 (années)	275	4	22,2	71	12,3
Durée entre 2 mesurages (années)	275	1	6,1	29	4,3

Berrill et Hay (2005). Le choix du modèle final s'est fait sur la base de la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne, du coefficient de détermination, de l'AIC et d'une analyse graphique des résidus. Le modèle retenu a été celui de Schumacher, dont le paramètre  $\beta_1$  est isolé afin de transformer la fonction en équation de différence :

$$H_{100,2,ij} = (\beta_0 + b_i) \left(1 - (A_{2,ij}/A_{1,ij})^{\beta_2}\right) \times H_{100,1,ij} + \varepsilon_{ij} \quad [9]$$

où

$H_{100,2,ij}$  = hauteur moyenne des 100 plus hautes tiges à l'hectare au temps 2 de la parcelle  $i$  à la période  $j$  (m),

$H_{100,1,ij}$  = hauteur moyenne des 100 plus hautes tiges à l'hectare au temps 1 de la parcelle  $i$  à la période  $j$  (m),

$A_{2,ij}$  = âge de la plantation au temps 2 de la parcelle  $i$  à la période  $j$  (années),

$A_{1,ij}$  = âge de la plantation au temps 1 de la parcelle  $i$  à la période  $j$  (années),

$\beta_0, \beta_2$  = coefficients de régression,

$b_i$  = effet aléatoire de la parcelle,  
 $b_i \sim N(0, \sigma_{parc}^2)$ , et

$\varepsilon_{ij}$  = erreur résiduelle associée au temps 2 de la parcelle  $i$  à la période  $j$ ,  
 $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_{res}^2)$ .

La procédure NLMIXED de SAS (SAS Institute 2011a) a été utilisée pour étalonner les modèles. Les postulats de normalité des résidus et d'homogénéité de la variance ont été vérifiés graphiquement.

Le modèle de croissance de la hauteur dominante sert principalement à obtenir des prévisions marginales de la hauteur dominante, généralement en fixant les effets aléatoires à 0. Toutefois, comme elles proviennent d'un modèle non linéaire mixte, les prévisions marginales ne peuvent pas être obtenues en utilisant seulement la partie à effets fixes de l'équation. Les prévisions marginales ont été obtenues selon les mêmes méthodes que celles décrites pour l'équation de défilement à la section 1.1.2.4, qui a permis d'obtenir l'approximation suivante :

$$\hat{H}_{100,2,ij} \approx \hat{H}_{100,2,ij,0} + \frac{1}{2} W_{ij} \hat{\sigma}_{parc}^2 \quad [10]$$

où

$\hat{H}_{100,2,ij}$  = prévision marginale de la hauteur moyenne des 100 plus hautes tiges à l'hectare au temps 2 à la période  $j$  de la parcelle  $i$  (m),

$\hat{H}_{100,2,ij,0}$  = hauteur moyenne des 100 plus hautes tiges à l'hectare de la parcelle  $i$  au temps 2 à la période  $j$ , prédite avec l'équation [9] en utilisant  $b_i = 0$  (m),

$\hat{\sigma}_{parc}^2$  = variance estimée de l'effet aléatoire de parcelle de l'équation [9], et

$W_{ij}$  = dérivée seconde de l'équation [9] par rapport à  $b_i$  évaluée à  $b_i = 0$ .

Le modèle de la présente étude diffère de celui de Bolghari et Bertrand (1984) de deux principales façons : 1) il utilise l'âge de la plantation plutôt que l'âge total, et 2) la hauteur dominante moyenne est mesurée à partir des 100 plus hautes tiges à l'hectare au lieu des 300 plus hautes tiges à l'hectare. Pour comparer les 2 modèles, nous avons effectué les deux conversions suivantes :

- l'âge de la plantation a été obtenu en soustrayant 4 années de l'âge total, étant donné que toutes les plantations de cette époque ont été établies à partir de plants produits à racines nues, dont la durée de production en pépinière était généralement de 4 années;
- la hauteur dominante des 100 plus hautes tiges à l'hectare a été estimée à partir de la hauteur des 300 plus hautes tiges à l'hectare à l'aide du modèle de régression linéaire suivant :

$$H_{100,ij} = 0,630 + (1,029 \times H_{300,ij}) \quad [11]$$

avec

erreur quadratique moyenne = 0,37 m

$R^2 = 99,0 \%$

où

$H_{100,ij}$  = hauteur moyenne des 100 plus hautes tiges à l'hectare de la parcelle  $i$  à la période  $j$  (m), et

$H_{300,ij}$  = hauteur moyenne des 300 plus hautes tiges à l'hectare de la parcelle  $i$  à la période  $j$  (m).

### 1.3 Tables de rendement

#### 1.3.1 Données

Les plantations ont été sélectionnées à partir des critères suivants :

- une parcelle doit avoir été établie sur une superficie suffisamment grande et être entourée d'au moins 2 rangées de bordure;
- la composition en épinette de Norvège plantée doit représenter au moins 75 % de la surface terrière totale;
- l'épinette de Norvège plantée doit occuper presque entièrement l'étage dominant;
- les arbres doivent avoir été plantés au cours de la même période, un écart maximal de 2 ans étant toléré;
- les plantations doivent n'avoir bénéficié d'aucune éclaircie commerciale ou fertilisation.

La répartition des 253 parcelles échantillonnées et les statistiques descriptives des différentes variables explicatives selon les domaines bioclimatiques sont présentées au tableau 5. Il n'y a aucune observation dans les domaines de l'érablière à caryer cordiforme et de la pessière à mousses. La plupart des parcelles (79 %) ont une superficie de 0,04 ha, et les autres ont une superficie variant de 0,01 à 0,08 ha. De plus, 46 % des parcelles sont carrées ou rectangulaires, alors que les autres sont circulaires. Les plantations ont été établies de 1923 à 1992 et elles ont été mesurées de 1970 à 2013 inclusivement. Près de 93 % d'entre elles sont issues de plants produits à racines nues; les autres sont issues de plants produits en récipients de 45 cavités de 110 cm<sup>3</sup> chacune, et ont été installées après 1983. La répartition des parcelles échantillonnées selon ces divers facteurs reflète l'historique du reboisement de l'épinette de Norvège.

**Tableau 5.** Statistiques descriptives des variables explicatives des modèles des tables de rendement selon les domaines bioclimatiques.

Variable	Domaine bioclimatique	n	Minimum	Moyenne	Maximum	Écart type
Âge de la plantation (années)	Érablière à tilleul	130	7	31,87	76	13,15
	Érablière à bouleau jaune	98	8	26,16	57	13,25
	Sapinière à bouleau jaune	249	8	25,27	52	8,82
	Sapinière à bouleau blanc	26	13	20,92	41	7,68
	Total	503 observations				
Hauteur dominante (m)	Érablière à tilleul	130	3,54	14,38	32,93	5,89
	Érablière à bouleau jaune	98	3,48	12,78	26,60	5,75
	Sapinière à bouleau jaune	249	3,29	12,86	24,88	5,30
	Sapinière à bouleau blanc	26	4,85	11,39	19,50	4,38
	Total	503 observations				
Indice de qualité de station (m à 25 ans)	Érablière à tilleul	130	6,97	11,58	17,59	2,12
	Érablière à bouleau jaune	98	8,59	13,14	18,02	2,17
	Sapinière à bouleau jaune	249	5,84	13,02	19,24	2,35
	Sapinière à bouleau blanc	26	10,70	14,16	18,34	1,94
	Total	503 observations				
Espacement initial moyen (m)	Érablière à tilleul	62	1,40	1,93	3,65	0,35
	Érablière à bouleau jaune	41	1,47	1,87	2,63	0,21
	Sapinière à bouleau jaune	137	1,31	1,97	3,43	0,34
	Sapinière à bouleau blanc	13	1,56	1,97	2,46	0,28
	Total	253 parcelles				

L'IQS d'une parcelle a été estimé avec l'équation [9], mais est considéré comme observé, donc sans erreur lors de l'étalonnage des tables de rendement. Celles-ci sont construites à partir des modèles de la surface terrière, du volume, du diamètre quadratique moyen et du nombre de tiges.

### 1.3.2 Modèles

Les modèles élaborés permettent de produire les tables de rendement associées à différents diamètres minimaux d'utilisation ( $d$ ). Des modèles de l'estimation de la surface terrière ( $G$ ), du volume sans écorce ( $V$ ) et du diamètre quadratique moyen ( $Dq$ ) ont été construits séparément pour chacun des diamètres d'utilisation suivants : 0 cm (total), 9 cm (marchand), 12 et 15 cm. Le nombre de tiges ( $N$ ) a été calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$N_d = \frac{40000 \times G_d}{\pi \times Dq_d^2} \quad [12]$$

où

$N_d$  = nombre de tiges pour un diamètre d'utilisation  $d$  (/ha),

$G_d$  = surface terrière pour un diamètre d'utilisation  $d$  ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ ), et

$Dq_d$  = diamètre quadratique moyen des tiges pour un diamètre d'utilisation  $d$  (cm).

Les 12 modèles (3 variables  $\times$  4 diamètres d'utilisation, équations [13] à [24]) forment un système d'équations simultanées, c'est-à-dire dont la résolution se fait simultanément. Les modèles ont été étalonnés à l'aide de la procédure MODEL du progiciel SAS (SAS Institute 2011b) et de la méthode FIML (*Full Information Maximum Likelihood estimation*). Les modèles ont une forme sigmoïdale et atteignent une asymptote à des âges avancés. Après l'essai de plusieurs modèles non linéaires, le modèle de Chapman-Richards a été retenu, puisqu'il s'ajustait le mieux aux données disponibles pour la plupart des équations. Un modèle multiplicatif a été utilisé pour la surface terrière totale et le volume total, tandis que des équations linéaires ont été nécessaires pour le diamètre quadratique moyen des arbres dont le diamètre est supérieur à 9, 12 et 15 cm. La hauteur dominante, l'IQS, l'âge de la plantation, l'espacement initial et la densité de la plantation ont été testés comme variables explicatives afin d'améliorer les estimations des différents modèles. Par ailleurs, il n'a pas été possible de faire converger les 12 équations simultanément. Chacune des 3 variables dépendantes a donc été étalonnée séparément. Les modèles de surface terrière n'ont pu être exprimés dans un système d'équations puisque les résidus étaient biaisés en fonction de l'IQS. Ainsi, pour la surface terrière, chaque modèle a été étalonné séparément avec la procédure MODEL. Le volume et le diamètre quadratique moyen ont chacun été exprimés en système d'équations.

Les équations retenues s'expriment comme suit :

$$G_{0,ij} = \beta_{G_{0,0}} + \beta_{G_{0,1}} IQS_{25,ij}^{\beta_{G_{0,2}}} age_{ij}^{\beta_{G_{0,3}}} DENSITE_i^{\beta_{G_{0,4}}} e^{\beta_{G_{0,5}}/age_{ij}} + \varepsilon_{G_{0,ij}} \quad [13]$$

$$G_{9,ij} = \beta_{G_{9,0}} G_{0,ij} \left( 1 - e^{-(\beta_{G_{9,1}} + \beta_{G_{9,2}} esp_i) age_{ij}} \right)^{\beta_{G_{9,3}}} + \varepsilon_{G_{9,ij}} \quad [14]$$

$$G_{12,ij} = \beta_{G_{12,0}} G_{9,ij} \left( 1 - e^{-(\beta_{G_{12,1}} + \beta_{G_{12,2}} esp_i) age_{ij}} \right)^{\beta_{G_{12,3}}} + \varepsilon_{G_{12,ij}} \quad [15]$$

$$G_{15,ij} = \beta_{G_{15,0}} G_{12,ij} \left( 1 - e^{-(\beta_{G_{15,1}} + \beta_{G_{15,2}} esp_i) age_{ij}} \right)^{\beta_{G_{15,3}}} + \varepsilon_{G_{15,ij}} \quad [16]$$

$$V_{0,ij} = \beta_{V_{0,0}} H_{100,ij}^{\beta_{V_{0,1}}} G_{0,ij}^{\beta_{V_{0,2}}} esp_i^{\beta_{V_{0,3}}} + \varepsilon_{V_{0,ij}} \quad [17]$$

$$V_{9,ij} = \beta_{V_{9,0}} V_{0,ij} \left( 1 - e^{-\beta_{V_{9,1}} age_{ij}} \right)^{\beta_{V_{9,2}}} + \varepsilon_{V_{9,ij}} \quad [18]$$

$$V_{12,ij} = \beta_{V_{12,0}} V_{9,ij} \left( 1 - e^{-\beta_{V_{12,1}} age_{ij}} \right)^{\beta_{V_{12,2}}} + \varepsilon_{V_{12,ij}} \quad [19]$$

$$V_{15,ij} = \beta_{V_{15,0}} V_{12,ij} \left( 1 - e^{-\beta_{V_{15,1}} age_{ij}} \right)^{\beta_{V_{15,2}}} + \varepsilon_{V_{15,ij}} \quad [20]$$

$$Dq_{0,ij} = \beta_{Dq_{0,0}} esp_i^{\beta_{Dq_{0,1}}} H_{100,ij}^{\beta_{Dq_{0,2}}} \left( 1 - e^{-\beta_{Dq_{0,3}} age_{ij}} \right)^{\beta_{Dq_{0,4}}} + \varepsilon_{Dq_{0,ij}} \quad [21]$$

$$Dq_{9,ij} = \beta_{Dq_{9,0}} + \beta_{Dq_{9,1}} G_{9,ij} + \beta_{Dq_{9,2}} Dq_{0,ij} + \beta_{Dq_{9,3}} Dq_{0,ij}^2 + \varepsilon_{Dq_{9,ij}} \quad [22]$$

$$Dq_{12,ij} = \beta_{Dq_{12,0}} + \beta_{Dq_{12,1}} G_{12,ij} + \beta_{Dq_{12,2}} Dq_{9,ij} + \varepsilon_{Dq_{12,ij}} \quad [23]$$

$$Dq_{15,ij} = \beta_{Dq_{15,0}} + \beta_{Dq_{15,1}} G_{15,ij} + \beta_{Dq_{15,2}} Dq_{12,ij} + \varepsilon_{Dq_{15,ij}} \quad [24]$$

où

$G_{0,ij}, G_{9,ij}, G_{12,ij}, G_{15,ij}$  = surface terrière de la parcelle  $i$  au mesurage  $j$  de tous les arbres et de ceux dont le DHP est plus grand que 9, 12 et 15 cm, respectivement ( $\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ ),

$V_{0,ij}, V_{9,ij}, V_{12,ij}, V_{15,ij}$  = volume sans écorce de la parcelle  $i$  au mesurage  $j$  de tous les arbres et de ceux dont le DHP est plus grand que 9, 12 et 15 cm, respectivement ( $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ),

$Dq_{0,ij}, Dq_{9,ij}, Dq_{12,ij}, Dq_{15,ij}$  = diamètre quadratique moyen de la parcelle  $i$  au mesurage  $j$  de tous les arbres et de ceux dont le DHP est plus grand que 9, 12 et 15 cm, respectivement (cm),

$IQS_{25,ij}$  = indice de qualité de station de la parcelle  $i$  au mesurage  $j$  (m à 25 ans),

$DENSITE_i$  = densité de reboisement de la parcelle  $i$  (tiges/ha),

$age_{ij}$  = âge de la plantation de la parcelle  $i$  au mesurage  $j$  (années),

$esp_i$  = espacement initial moyen entre les arbres de la parcelle  $i$  (m),

$H_{100,ij}$  = hauteur moyenne des 100 plus hautes tiges à l'hectare de la parcelle  $i$  au mesurage  $j$  (m),

$\beta_{G_{0,k}}, \beta_{G_{9,k}}, \beta_{G_{12,k}}, \beta_{G_{15,k}}$  = coefficients des équations [13] à [16],  $k = 0, 1, 2, 3, 4, 5$  pour  $\beta_{G_{0,k}}$  et  $k = 0, 1, 2, 3$  pour  $\beta_{G_{9,k}}, \beta_{G_{12,k}}$  et  $\beta_{G_{15,k}}$ ,

$\beta_{V_{0,k}}, \beta_{V_{9,k}}, \beta_{V_{12,k}}, \beta_{V_{15,k}}$  = coefficients des équations [17] à [20],  $k = 0, 1, 2, 3$  pour  $\beta_{V_{0,k}}$  et  $k = 0, 1, 2$ , pour  $\beta_{V_{9,k}}, \beta_{V_{12,k}}$  et  $\beta_{V_{15,k}}$ ,

$\beta_{Dq_{0,k}}, \beta_{Dq_{9,k}}, \beta_{Dq_{12,k}}, \beta_{Dq_{15,k}}$  = coefficients des équations [21] à [24],  $k = 0, 1, 2, 3, 4$  pour  $\beta_{Dq_{0,k}}$ ,  $k = 0, 1, 2, 3$  pour  $\beta_{Dq_{9,k}}$  et  $k = 0, 1, 2$  pour  $\beta_{Dq_{12,k}}$  et  $\beta_{Dq_{15,k}}$ ,

$\varepsilon_{G_{0,ij}}, \varepsilon_{G_{9,ij}}, \varepsilon_{G_{12,ij}}, \varepsilon_{G_{15,ij}}$  = erreurs résiduelles associées à la surface terrière de la parcelle  $i$  au mesurage  $j$  des équations [13] à [16], respectivement, et

$$\varepsilon_{G_{0,ij}} \sim N(0, \sigma_{G_0}^2), \varepsilon_{G_{9,ij}} \sim N(0, \sigma_{G_9}^2), \\ \varepsilon_{G_{12,ij}} \sim N(0, \sigma_{G_{12}}^2), \varepsilon_{G_{15,ij}} \sim N(0, \sigma_{G_{15}}^2),$$

$\varepsilon_{V_{0,ij}}, \varepsilon_{V_{9,ij}}, \varepsilon_{V_{12,ij}}, \varepsilon_{V_{15,ij}}$  = erreurs résiduelles associées au volume de la parcelle  $i$  au mesurage  $j$  des équations [17] à [20], respectivement, et  $(\varepsilon_{V_{0,ij}}, \varepsilon_{V_{9,ij}}, \varepsilon_{V_{12,ij}}, \varepsilon_{V_{15,ij}})^T \sim N_4(0, \Sigma_V)$ , où  $\Sigma_V$  est la matrice de covariances entre les erreurs des équations [17] à [20], et

$\varepsilon_{Dq_{0,ij}}, \varepsilon_{Dq_{9,ij}}, \varepsilon_{Dq_{12,ij}}, \varepsilon_{Dq_{15,ij}}$  = erreurs résiduelles associées au diamètre quadratique moyen de la parcelle  $i$  au mesurage  $j$  des équations [21] à [24], respectivement, et  $(\varepsilon_{Dq_{0,ij}}, \varepsilon_{Dq_{9,ij}}, \varepsilon_{Dq_{12,ij}}, \varepsilon_{Dq_{15,ij}})^T \sim N_4(0, \Sigma_{Dq})$ , où  $\Sigma_{Dq}$  est la matrice de covariances entre les erreurs des équations [21] à [24].

La dépendance entre les mesurages dans le temps d'une même parcelle est prise en compte en exprimant le terme d'erreur des équations [13] à [24] au moyen de la structure de corrélation autorégressive continue de premier ordre (CAR(1)). Cette structure permet de tenir compte des mesures inégalement espacées dans le temps (Grégoire et al. 1995). La structure CAR(1) déploie le terme d'erreur de la façon suivante (Barrio Anta et al. 2006) :

$$\varepsilon_{ij} = \rho \varepsilon_{ij-1} + e_{ij} \quad [25]$$

où

$\varepsilon_{ij}$  = résidu de la parcelle  $i$  au mesurage  $j$ ,

$\varepsilon_{ij-1}$  = résidu de la parcelle  $i$  au mesurage  $j - 1$ ,

= variable indicatrice de valeur 0 au premier mesurage et de valeur 1 aux mesurages subséquents,

$\rho$  = paramètre d'autocorrélation,

$t_{ij} - t_{ij-1}$  = nombre d'années entre les mesurages  $j$  et  $j - 1$  dans la parcelle  $i$ , et

$e_{ij}$  = erreur résiduelle sous les conditions d'indépendance et d'homoscédasticité.

## 1.4 Modèles de croissance

### 1.4.1 Données

La répartition des 250 observations dans les 138 parcelles échantillonnées et les statistiques descriptives des différentes variables explicatives selon les domaines bioclimatiques sont présentées au tableau 6. On peut noter de nouveau l'absence d'observations dans les domaines de l'érablière à caryer cordiforme et de la pessière à mousses, résultat de la rareté des plantations d'épinette de Norvège dans ces domaines.

### 1.4.2 Modèles

Des modèles de croissance ont été élaborés pour estimer la surface terrière totale, le volume total et le diamètre quadratique moyen futurs d'une plantation à partir de ses caractéristiques actuelles. Les modèles ont la même forme que ceux de Prégent *et al.* (2010), soit l'exponentielle d'une fonction linéaire, afin d'assurer l'obtention de valeurs estimées positives. Les modèles estiment la croissance annuelle et sont invariants au pas de simulation. Cela signifie que les projections du temps  $t$  à  $t + 1$  puis du temps  $t + 1$  à  $t + 2$  procurent la même estimation finale qu'une seule projection faite du temps  $t$  à  $t + 2$  (Diéguez-Aranda *et al.* 2006). Une méthode récursive a été utilisée pour annualiser les modèles, et son développement est présenté sous forme d'équations à l'annexe 1.

Les modèles de croissance de la surface terrière totale, du volume total et du diamètre quadratique moyen ont été étalonnés à l'intérieur d'un système d'équations simultanées à l'aide de la procédure MODEL et de la méthode FIML (SAS Institute 2011a). La dépendance entre les périodes d'une même parcelle a été prise en compte en utilisant la même approche que celle pour les modèles des tables de rendement, soit en exprimant l'erreur résiduelle avec l'équation [25].

Les variables explicatives testées et leurs interactions comprennent la hauteur moyenne des 100 plus hautes tiges à l'hectare, la surface terrière totale, le volume total sans écorce, le nombre total de tiges, le diamètre quadratique moyen total et l'espacement initial entre les arbres. Les modèles ont été sélectionnés en fonction du coefficient de détermination, de la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne et des graphiques basés sur les résidus de manière à détecter d'éventuels biais. Les équations retenues s'expriment comme suit :

$$G_{0,i(t+1)} = \exp \left[ \beta_{G_{0,0}} + \beta_{G_{0,1}} \left( \text{age}_{it} / \text{age}_{i(t+1)} \right) + \beta_{G_{0,2}} \left( \text{age}_{it} / \text{age}_{i(t+1)} \right) \ln(G_{0,it}) \right] + \varepsilon_{G_{0,i(t+1)}} \quad [26]$$

Tableau 6. Statistiques descriptives des variables explicatives des modèles de croissance selon les domaines bioclimatiques.

Variable	Domaine bioclimatique	n*	Minimum	Moyenne	Maximum	Écart type
Âge de la plantation au temps $t$ (années)	Érablière à tilleul	68	13	32,60	71	12,62
	Érablière à bouleau jaune	57	8	22,51	53	12,46
	Sapinière à bouleau jaune	112	8	23,89	40	8,02
	Sapinière à bouleau blanc	13	13	16,15	25	4,04
Hauteur dominante au temps $t$ (m)	Érablière à tilleul	68	5,35	14,93	30,65	5,59
	Érablière à bouleau jaune	57	3,48	11,10	24,30	5,55
	Sapinière à bouleau jaune	112	3,64	12,71	22,38	4,56
	Sapinière à bouleau blanc	13	4,85	8,89	16,25	3,67
Indice de qualité de station (m à 25 ans)	Érablière à tilleul	68	6,97	11,61	14,64	2,08
	Érablière à bouleau jaune	57	9,60	13,14	18,02	2,18
	Sapinière à bouleau jaune	112	8,97	13,92	19,24	2,01
	Sapinière à bouleau blanc	13	10,70	14,48	16,86	1,70
Durée entre 2 mesurages (années)	Érablière à tilleul	68	1	5,60	21	3,97
	Érablière à bouleau jaune	57	4	5,40	18	2,75
	Sapinière à bouleau jaune	112	1	5,00	23	2,96
	Sapinière à bouleau blanc	13	4	4,92	5	0,28

\* Au total, on compte 250 observations.

$$V_{0,i(t+1)} = \exp \left[ \beta_{V_{0,0}} + \beta_{V_{0,1}} \left( \frac{age_{it}}{age_{i(t+1)}} \right) \ln(G_{0,it}) + \beta_{V_{0,2}} \hat{H}_{100,it} \right] + \varepsilon_{V_{0,i(t+1)}} \quad [27]$$

$$Dq_{0,i(t+1)} = \exp \left[ \beta_{Dq_{0,0}} + \beta_{Dq_{0,1}} \left( \frac{age_{it}}{age_{i(t+1)}} \right) + \beta_{Dq_{0,2}} \ln(G_{0,it}) + \beta_{Dq_{0,3}} \left( \frac{age_{it}}{age_{i(t+1)}} \right) \ln(G_{0,it}) + \beta_{Dq_{0,4}} \ln(N_{0,it}) \right] + \varepsilon_{Dq_{0,i(t+1)}} \quad [28]$$

où

$G_{0,i(t+1)}$  = surface terrière totale au temps  $t + 1$  de la parcelle  $i$  ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ ),

$G_{0,it}$  = surface terrière totale au temps  $t$  de la parcelle  $i$  ( $m^2 \cdot ha^{-1}$ ),

$V_{0,i(t+1)}$  = volume total sans écorce au temps  $t + 1$  de la parcelle  $i$  ( $m^3 \cdot ha^{-1}$ ),

$Dq_{0,i(t+1)}$  = diamètre quadratique moyen au temps  $t + 1$  de la parcelle  $i$  (cm),

$age_{it}$  = âge de la plantation au temps  $t$  de la parcelle  $i$  (années),

$age_{i(t+1)}$  = âge de la plantation au temps  $t + 1$  de la parcelle  $i$  (années),

$\beta_{G_{0,k}}$  = coefficients de régression,  $k = 0, 1, 2$

$\beta_{V_{0,k}}$  = coefficients de régression,  $k = 0, 1, 2$

$\beta_{Dq_{0,k}}$  = coefficients de régression,  $k = 0, 1, 2, 3, 4$

$\hat{H}_{100,it}$  = hauteur moyenne estimée des 100 plus hautes tiges à l'hectare au temps  $t$  de la parcelle  $i$  (m),

$N_{0,it}$  = nombre total des tiges au temps  $t$  de la parcelle  $i$  (/ha), et

$\varepsilon_{G_{0,i(t+1)}}, \varepsilon_{V_{0,i(t+1)}}, \varepsilon_{Dq_{0,i(t+1)}}$  = erreurs résiduelles de la parcelle  $i$  au temps  $t + 1$  des équations [26] à [28], respectivement, et  $\left( \varepsilon_{G_{0,i(t+1)}}, \varepsilon_{V_{0,i(t+1)}}, \varepsilon_{Dq_{0,i(t+1)}} \right)^T \sim N_3(0, \Sigma)$ , où  $\Sigma$  est la matrice de covariances entre les erreurs des équations [26] à [28].

$\hat{H}_{100,it}$  et  $N_{0,it}$  sont des valeurs observées à  $t = 0$  et sont calculés directement dans le système d'équations à chaque étape à l'aide des modèles [10] et [12] pour  $t > 0$ .

Les hypothèses de normalité des résidus et d'homogénéité de la variance ont été vérifiées graphiquement. Les résidus ont été examinés en fonction de l'IQS, de la région écologique, de la hauteur dominante, de l'espacement et de l'âge de la plantation.

### 1.5 Validation des modèles

Les modèles ont été évalués afin de vérifier leur fiabilité et leur justesse, à l'aide de la méthode de la validation croisée en  $n$  groupes. Cette méthode consiste à retirer une parcelle ou une tige de la banque de données puis à étalonner le modèle avec les  $(n - 1)$  parcelles ou tiges restantes, et ainsi obtenir un nouvel ensemble de paramètres. On calcule ensuite la valeur estimée avec ces nouveaux paramètres pour la parcelle ou la tige qui a été enlevée. On répète ces étapes pour les  $n$  parcelles ou les  $n$  tiges de l'ensemble de données. Pour chaque modèle, le biais et la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (REQM), qui sera appelée *erreur*, sont calculés. Des valeurs relatives du biais et de l'erreur sont obtenues en les divisant par la moyenne des valeurs observées.

Pour l'évaluation des modèles de croissance, la valeur observée au premier mesurage a servi de point de départ pour l'application des modèles. Ainsi, la valeur du deuxième mesurage a été prédite à partir de celle observée au premier mesurage, celle du troisième mesurage a été prédite à partir de la valeur estimée au deuxième mesurage, et ainsi de suite pour les mesurages 4, 5 et 6.



# Chapitre deux

## Résultats

### 2.1 Tarif de cubage

#### 2.1.1 Diamètre à hauteur de poitrine

La relation entre le DHP et le diamètre à hauteur de souche décrite par une régression linéaire simple a un  $R^2$  de 97,6 % et une racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (REQM) de 1,12 cm. La valeur des paramètres de l'équation [1] est  $\hat{\beta}_0 = 0,0165$  et  $\hat{\beta}_1 = 0,8202$ . Les erreurs types associées à chacun des paramètres sont de 0,1544 et 0,0077, respectivement.

#### 2.1.2 Hauteur totale

Le tableau 7 présente les paramètres du modèle [2] de l'estimation de la hauteur totale. Le coefficient de détermination du modèle est de 94,4 %. Le tableau 8 présente les résultats de la validation croisée. Le modèle de prévision de la

hauteur sous-estime les observations par environ 0,7 %, et l'erreur est de 1,6 m. On remarque une tendance à la surestimation pour les tiges de faible hauteur (-6,2 %) et l'inverse pour les tiges hautes (4,4 %).

#### 2.1.3 Volume total

Les valeurs des paramètres des équations [3] et [4] de l'estimation du volume total avec et sans écorce sont présentées au tableau 7. Les coefficients de détermination sont de 99,2 % pour le volume total d'une tige sans écorce et de 99,3 %, pour le volume total d'une tige avec écorce. L'équation permettant d'estimer le volume total sans écorce est présentée graphiquement à la figure 2 et sous forme de tableau à l'annexe 2. Le volume total avec écorce, utilisé moins couramment, est présenté sous la forme d'un tableau à l'annexe 3. Les résultats de la validation

Tableau 7. Paramètres et erreurs types des modèles de prévision de la hauteur totale et des volumes totaux avec et sans écorce.

Paramètre	Hauteur totale		Volume total sans écorce		Volume total avec écorce	
	Valeur	Erreur type	Valeur	Erreur type	Valeur	Erreur type
$\hat{\beta}_1$	-0,8586	0,7607	0,0338	0,0016	0,0547	0,0021
$\hat{\beta}_2$	1,1303	0,0975	1,9717	0,0256	1,9468	0,0207
$\hat{\beta}_3$	-0,1347	2,0958	1,0432	0,0298	0,9437	0,0250
$\hat{\beta}_4$	0,6845	0,3165				
$\hat{\beta}_5$	-1,3847	0,2132				
$\hat{\alpha}$			0,0347	0,0049	0,1149	0,0139
$\hat{\sigma}^2$	1,3073		4,2273	0,1056	3,3578	0,0884

Tableau 8. Évaluation du modèle de prévision de la hauteur totale, par classe de hauteur totale et par classe de DHP (n : nombre d'observations).

Classe de hauteur totale (m)	Classe de DHP (cm)	n	Moyenne observée (m)	Biais		Erreur	
				(m)	(%)	(m)	(%)
Toutes	Toutes	193	13,8	0,1	0,7	1,6	11,7
[2,0, 10,4[	Toutes	40	7,5	-0,5	-6,2	1,5	19,6
[10,4, 13,4[	Toutes	51	11,9	-0,2	-2,0	1,1	9,6
[13,4, 16,9[	Toutes	51	15,2	0,1	0,9	1,1	7,1
[16,9, 30,2]	Toutes	51	19,4	0,8	4,4	2,4	12,4
Toutes	[1,5, 11,3[	41	9,1	-0,2	-1,9	1,5	16,8
Toutes	[11,3, 14,9[	49	12,7	-0,1	-0,5	1,1	8,3
Toutes	[14,9, 17,8[	50	14,5	0,3	2,3	1,0	7,2
Toutes	[17,8, 29,8[	53	17,9	0,3	1,4	2,4	13,3

croisée pour le volume total sans écorce et avec écorce se retrouvent aux tableaux 9 et 10, respectivement. Le volume total sans écorce d'une tige est surestimé en moyenne de 0,3 %, et le volume total avec écorce, de 0,1 %. L'erreur est de 31,9 dm<sup>3</sup> et de 28,6 dm<sup>3</sup> respectivement pour le volume sans et avec écorce. En valeur absolue, les biais pour le volume avec et sans écorce en fonction de la grosseur de la tige et de la hauteur sont tous inférieurs ou égaux à 4,1 %.

#### 2.1.4 Équation de défilement de la tige

Les valeurs des paramètres de l'équation [5] pour l'estimation du diamètre sous écorce au carré et du diamètre sur écorce au carré sont présentées au tableau 11. L'examen des résidus normalisés issus de ces 2 équations ne révèle aucune divergence par rapport aux postulats d'homogénéité de la variance et de normalité. L'indice de conditionnement avait une valeur de 19 pour le diamètre sous écorce au carré et de 12 pour celui sur écorce, ne révélant aucun problème majeur de multicolinéarité.

Le biais et l'erreur des prévisions marginales du diamètre sous écorce au carré, issus de la validation croisée, sont présentés au tableau 12. Aucun biais majeur n'est présent, puisqu'il est en moyenne inférieur à 0,5 % et qu'il varie de -0,8 à 3,8 % selon la hauteur relative. L'erreur indique une variation moyenne de 16 % autour de la valeur observée.

Le volume total sans écorce et le volume marchand (sans écorce) ont été estimés par intégration numérique de l'équation de défilement. Le volume marchand représente le volume de la tige à partir de la hauteur de souche jusqu'à la hauteur correspondant à un diamètre au fin bout de 9 cm. Les tableaux 13 et 14 présentent l'évaluation de ces prévisions. Le biais moyen est de 2,3 dm<sup>3</sup> (1,3 %) pour le volume total et de 5,4 dm<sup>3</sup> (2,7 %) pour le volume marchand. Les biais relatifs parmi les plus grands sur le volume total sont obtenus sur les tiges de plus faibles dimensions, soit avec une hauteur totale inférieure à 7,5 m (2,3 %), un DHP inférieur à 7,5 cm (4,3 %) ou une combinaison des deux (3,2 %). Les prévisions du volume marchand sous-estiment ceux observés, peu importe la taille de la tige. L'erreur moyenne autour de la valeur observée est de près de 15 %, autant pour le volume total que marchand.

L'estimation du volume marchand est représentée graphiquement à la figure 3. L'annexe 4 présente ces résultats sous la forme d'un tableau. Des estimations de volume sans écorce pour des diamètres au fin bout variant de 12 à 24 cm, par intervalles de 3 cm, sont présentées successivement aux annexes 5 à 9.

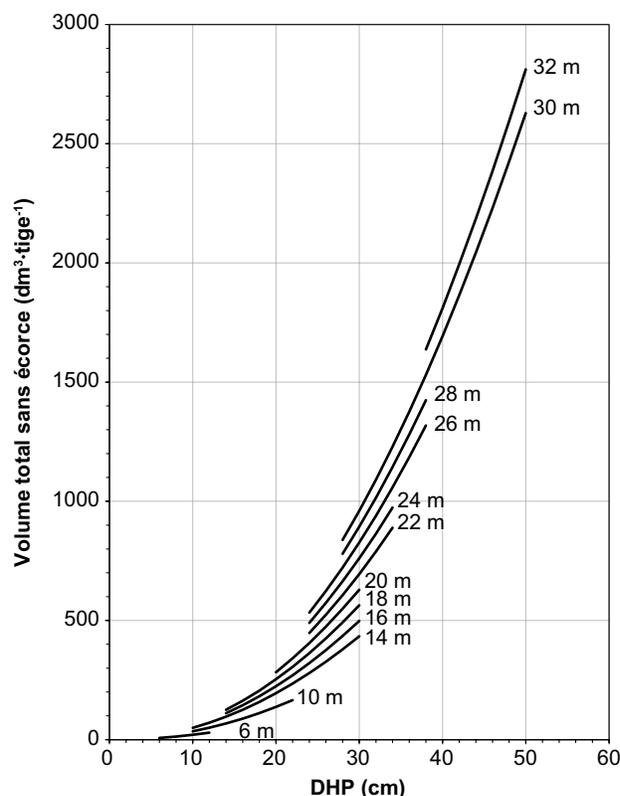


Figure 2. Volume total sans écorce d'une tige d'épinette de Norvège en plantation en fonction du DHP et de la hauteur totale.

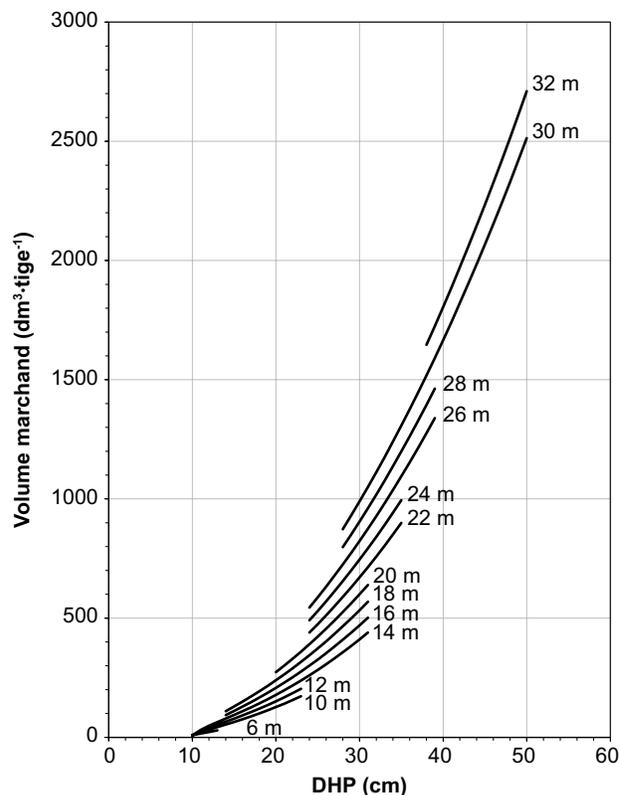


Figure 3. Volume marchand d'une tige d'épinette de Norvège en plantation en fonction du DHP et de la hauteur totale.

**Tableau 9.** Évaluation du modèle de prévision du volume total sans écorce, par classe de hauteur totale et classe de DHP (n : nombre d'observations).

Classe de hauteur totale (m)	Classe de DHP (cm)	n	Moyenne observée (dm <sup>3</sup> )	Biais		Erreur	
				(dm <sup>3</sup> )	(%)	(dm <sup>3</sup> )	(%)
Toutes	Toutes	292	175,5	-0,6	-0,3	31,9	17,6
[1,9, 10,4[	Toutes	89	26,1	0,5	1,9	4,4	17,6
[10,4, 13,4[	Toutes	58	82,0	-3,3	-4,1	11,0	13,2
[13,4, 16,9[	Toutes	62	143,9	-1,1	-0,8	15,4	9,9
[16,9, 33,2]	Toutes	83	424,5	0,5	0,1	57,2	13,2
Toutes	[1,3, 11,3[	82	18,6	0,1	0,6	2,2	12,1
Toutes	[11,3, 14,9[	62	74,6	-2,1	-2,7	6,6	9,9
Toutes	[14,9, 17,8[	61	137,1	-1,0	-0,7	13,2	9,9
Toutes	[17,8, 49,9]	87	422,1	0,0	0,0	56,1	13,2

**Tableau 10.** Évaluation du modèle de prévision du volume total avec écorce, par classe de hauteur totale et classe de DHP (n : nombre d'observations).

Classe de hauteur totale (m)	Classe de DHP (cm)	n	Moyenne observée (dm <sup>3</sup> )	Biais		Erreur	
				(dm <sup>3</sup> )	(%)	(dm <sup>3</sup> )	(%)
Toutes	Toutes	292	195,9	-0,2	-0,1	28,6	14,3
[1,9, 10,4[	Toutes	89	32,7	0,8	2,5	3,3	12,1
[10,4, 13,4[	Toutes	58	98,0	-3,4	-3,5	9,9	9,9
[13,4, 16,9[	Toutes	62	165,0	-2,0	-1,2	13,2	7,7
[16,9, 33,2]	Toutes	83	462,4	2,3	0,5	51,7	11,0
Toutes	[1,3, 11,3[	82	22,8	0,0	0,0	2,2	11,0
Toutes	[11,3, 14,9[	62	88,5	-2,1	-2,3	6,6	7,7
Toutes	[14,9, 17,8[	61	159,4	0,0	0,0	12,1	7,7
Toutes	[17,8, 49,9]	87	461,2	0,8	0,2	50,6	11,0

**Tableau 11.** Valeur des paramètres des équations de défilement sous écorce et sur écorce.

Paramètre	Diamètre sous écorce au carré ( $d^2$ )		Diamètre sur écorce au carré ( $d^2_{sur\ e}$ )	
	Valeur estimée	Erreur type	Valeur estimée	Erreur type
$\hat{\alpha}_0$	0,5860	0,0208	1	
$\hat{\alpha}_1$	2,1422	0,0121	2,0049	0,0017
$\hat{\beta}_0$	-0,4178	0,2158	-0,8215	0,2002
$\hat{\beta}_1$	1,3874	0,0620	1,3878	0,0573
$\hat{\beta}_7$	1,6366	0,0562	1,7811	0,0499
$\hat{\beta}_2$	-1,5680	0,1140	-1,2027	0,1004
$\hat{\beta}_3$	0,9386	0,2155	1,3309	0,1998
$\hat{\beta}_4$	2,3726	0,1554	1,9810	0,1407
$\hat{\beta}_5$	0,0958	0,0035	0,0882	0,0030
$\hat{\sigma}_{arbre}$	0,1222		0,1089	
$\hat{\sigma}_{res}$	0,5525		0,5499	
$\hat{\delta}$	0,7060		0,6879	
$\hat{\rho}_{res}$	0,7093		0,6610	

**Tableau 12.** Évaluation du diamètre sous écorce au carré ( $d^2$ ) marginal prédit à partir de l'équation de défilement.

Classe de hauteur totale relative	Nombre d'observations	$d^2$ observé (cm <sup>2</sup> )	Biais		Erreur	
			(cm <sup>2</sup> )	(%)	(cm <sup>2</sup> )	(%)
Toutes	3 909	219,9	1,0	0,4	35,2	16,0
]0, 0,1]	886	379,1	-3,0	-0,8	49,8	13,1
]0,1, 0,2]	436	300,4	3,4	1,1	30,3	10,1
]0,2, 0,3]	382	277,0	4,1	1,5	34,8	12,5
]0,3, 0,4]	366	246,4	2,7	1,1	37,4	15,2
]0,4, 0,5]	376	190,6	-0,4	-0,2	33,5	17,6
]0,5, 0,6]	387	150,1	1,0	0,6	32,4	21,6
]0,6, 0,7]	359	105,7	3,0	2,8	26,3	24,9
]0,7, 0,8]	339	61,7	2,2	3,6	20,9	33,9
]0,8, 0,9]	265	27,1	1,0	3,8	14,2	52,2
]0,9, 1,0]	113	8,3	0,1	1,1	5,8	69,7

Tableau 13. Évaluation du volume total sans écorce ( $V_{t_{SE}}$ ) prédit à partir de l'équation de défilement.

Classe de DHP* (cm)	Classe de hauteur totale (m)	Nombre d'observations	$V_{t_{SE}}$ observé (dm <sup>3</sup> )	Biais		Erreur	
				(dm <sup>3</sup> )	(%)	(dm <sup>3</sup> )	(%)
Toutes	Toutes	292	176,3	2,3	1,3	27,5	15,6
Toutes	[1,9, 7,5[	54	9,2	0,2	2,3	1,7	18,1
Toutes	[7,5, 12,5[	79	66,6	1,3	1,9	8,2	12,3
Toutes	[12,5, 17,5[	93	150,9	1,3	0,9	15,1	10,0
Toutes	[17,5, 33,2]	66	479,9	6,5	1,4	54,1	11,3
[1,3, 7,5[	Toutes	37	4,2	0,2	4,3	0,6	14,9
[7,5, 12,5[	Toutes	59	35,0	0,3	0,7	3,3	9,5
[12,5, 17,5[	Toutes	96	108,8	0,2	0,2	11,1	10,2
[17,5, 22,5[	Toutes	69	211,9	3,0	1,4	17,4	8,2
[22,5, 49,9]	Toutes	31	780,0	13,1	1,7	77,6	10,0
[1,3, 7,5[	[1,9, 7,5[	36	3,9	0,1	3,2	0,5	12,9
[7,5, 12,5[	[1,9, 7,5[	18	19,9	0,4	2,0	2,8	14,1
[7,5, 12,5[	[7,5, 12,5[	31	37,1	0,7	1,8	3,4	9,2
[12,5, 17,5[	[7,5, 12,5[	37	77,4	1,9	2,4	9,3	12,0
[12,5, 17,5[	[12,5, 17,5[	51	120,5	-1,5	-1,3	10,7	8,8
[17,5, 22,5[	[12,5, 17,5[	24	183,9	-0,3	-0,2	12,7	6,9
[17,5, 22,5[	[17,5, 33,2]	35	256,3	6,0	2,3	20,9	8,2
[22,5, 49,9]	[17,5, 33,2]	23	924,4	8,1	0,9	87,3	9,4

\* Seules les classes avec au moins 10 tiges sont présentées.

Tableau 14. Évaluation du volume marchand ( $V_m$ ) prédit à partir de l'équation de défilement.

Classe de DHP* (cm)	Classe de hauteur totale (m)	Nombre d'observations	$V_m$ observé (dm <sup>3</sup> )	Biais		Erreur	
				(dm <sup>3</sup> )	(%)	(dm <sup>3</sup> )	(%)
Toutes	Toutes	240	200,7	5,4	2,7	31,0	15,4
Toutes	[7,5, 12,5[	74	58,4	5,1	8,8	10,0	17,1
Toutes	[12,5, 17,5[	91	140,6	4,0	2,9	15,7	11,1
Toutes	[17,5, 33,2]	66	468,2	7,8	1,7	55,1	11,8
[7,5, 12,5[	Toutes	44	25,3	5,9	23,2	7,2	28,5
[12,5, 17,5[	Toutes	96	96,8	2,9	3,0	11,6	12,0
[17,5, 22,5[	Toutes	69	201,7	4,8	2,4	17,2	8,5
[22,5, 49,9]	Toutes	31	769,6	13,5	1,8	79,2	10,3
[7,5, 12,5[	[7,5, 12,5[	27	23,9	7,2	30,0	8,3	34,6
[12,5, 17,5[	[7,5, 12,5[	37	68,4	4,9	7,1	10,2	14,9
[12,5, 17,5[	[12,5, 17,5[	51	106,3	0,7	0,7	10,9	10,2
[17,5, 22,5[	[12,5, 17,5[	24	175,4	2,4	1,4	12,6	7,2
[17,5, 22,5[	[17,5, 33,2]	35	244,6	7,7	3,1	20,7	8,5
[22,5, 49,9]	[17,5, 33,2]	23	913,1	7,9	0,9	89,1	9,8

\* Seules les classes avec au moins 10 tiges sont présentées.

Tableau 15. Évaluation du diamètre sur écorce au carré ( $d^2_{sur_e}$ ) marginal prédit à partir de l'équation de défilement.

Classe de hauteur relative	Nombre d'observations	$d^2_{sur_e}$ observé (cm <sup>2</sup> )	Biais		Erreur	
			(cm <sup>2</sup> )	(%)	(cm <sup>2</sup> )	(%)
Toutes	3909	245,4	1,0	0,4	33,8	13,8
]0, 0,1]	886	421,7	-4,9	-1,2	45,0	10,7
]0,1, 0,2]	436	333,8	4,5	1,4	26,2	7,8
]0,2, 0,3]	382	307,6	6,9	2,2	36,2	11,8
]0,3, 0,4]	366	273,2	3,8	1,4	38,5	14,1
]0,4, 0,5]	376	213,6	0,1	0,1	34,0	15,9
]0,5, 0,6]	387	169,0	0,2	0,1	33,2	19,6
]0,6, 0,7]	359	120,2	2,7	2,2	26,5	22,0
]0,7, 0,8]	339	71,4	2,3	3,2	21,2	29,7
]0,8, 0,9]	265	32,3	1,4	4,2	14,3	44,2
]0,9, 1,0]	113	9,9	-0,1	-1,0	6,3	63,3

Le biais et l'erreur des prévisions marginales du diamètre sur écorce au carré sont présentés au tableau 15. Aucun biais majeur n'est présent, puisque la moyenne est inférieure à 0,5 % et qu'elle varie de -1,2 à 4,2 % selon la hauteur relative. L'erreur indique une variation moyenne d'environ 14 % autour de la valeur observée.

Les tableaux 16 et 17 présentent respectivement l'évaluation des prévisions du volume total avec écorce et du volume avec écorce pour un diamètre de 9 cm au fin bout. Le biais moyen est de 3,0 dm<sup>3</sup> (1,5 %) sur le volume total et de 2,2 dm<sup>3</sup> (1,0 %) sur le volume des tiges pour un diamètre de 9 cm au fin bout. Les biais relatifs parmi les plus grands sur

le volume total sont obtenus sur les tiges de plus faibles dimensions, soit avec une hauteur totale inférieure à 7,5 m (5,8 %), un DHP inférieur à 7,5 cm (8,9 %) ou une combinaison des deux (9,3 %). La variation moyenne des prévisions autour de la valeur observée est d'environ 14 %, autant pour le volume total que celui des tiges ayant un diamètre de 9 cm au fin bout. Les estimations pour les volumes avec écorce pour des diamètres au fin bout variant de 9 à 24 cm, par intervalles de 3 cm, sont présentées successivement aux annexes 10 à 15. On peut obtenir des volumes d'écorce pour toute la tige ou pour un diamètre au fin bout donné en soustrayant le volume sans écorce de celui avec écorce, à l'aide des valeurs présentées dans les annexes 2 à 15.

Tableau 16. Évaluation du volume total avec écorce ( $V_{t_{AE}}$ ) prédit à partir de l'équation de défilement.

Classe de DHP (cm)*	Classe de hauteur totale (m)	Nombre d'observations	$V_{t_{AE}}$ observé (dm <sup>3</sup> )	Biais		Erreur	
				(dm <sup>3</sup> )	(%)	(dm <sup>3</sup> )	(%)
Toutes	Toutes	292	197,0	3,0	1,5	28,1	14,3
Toutes	[1,9, 7,5[	54	12,4	0,7	5,8	1,5	12,0
Toutes	[7,5 - 12,5[	79	80,2	1,7	2,2	7,2	8,9
Toutes	[12,5 - 17,5[	93	173,1	0,4	0,3	13,5	7,8
Toutes	[17,5, 33,2]	66	521,3	9,8	1,9	56,3	10,8
[1,3, 7,5[	Toutes	37	6,0	0,5	8,9	0,8	13,4
[7,5, 12,5[	Toutes	59	42,6	-0,4	-0,9	3,5	8,2
[12,5, 17,5[	Toutes	96	126,8	-0,5	-0,4	9,6	7,6
[17,5, 22,5[	Toutes	69	242,2	4,1	1,7	15,3	6,3
[22,5, 49,9]	Toutes	31	835,3	20,4	2,4	81,3	9,7
[1,3, 7,5[	[1,9, 7,5[	36	5,7	0,5	9,3	0,8	14,1
[7,5, 12,5[	[1,9, 7,5[	18	25,9	1,1	4,3	2,3	8,9
[7,5, 12,5[	[7,5, 12,5[	31	45,3	0,1	0,2	3,4	7,4
[12,5, 17,5[	[7,5, 12,5[	37	93,4	3,0	3,2	8,2	8,7
[12,5, 17,5[	[12,5, 17,5[	51	138,6	-3,9	-2,8	9,7	7,0
[17,5, 22,5[	[12,5, 17,5[	24	215,5	3,7	1,7	11,1	5,1
[17,5, 22,5[	[17,5, 33,2]	35	288,0	4,9	1,7	18,6	6,4
[22,5, 49,9]	[17,5, 33,2]	23	985,9	19,0	1,9	92,2	9,4

\* Seules les classes avec au moins 10 tiges sont présentées.

Tableau 17. Évaluation du volume avec écorce pour un diamètre de 9 cm au fin bout ( $V_{9AE}$ ) prédit à partir de l'équation de défilement.

Classe de DHP (cm)*	Classe de hauteur totale (m)	Nombre d'observations	$V_{9AE}$ observé (dm <sup>3</sup> )	Biais		Erreur	
				(dm <sup>3</sup> )	(%)	(dm <sup>3</sup> )	(%)
Toutes	Toutes	240	222,9	2,2	1,0	31,1	14,0
Toutes	[7,5, 12,5[	74	69,9	0,9	1,3	8,0	11,4
Toutes	[12,5, 17,5[	91	160,7	-1,1	-0,7	14,8	9,2
Toutes	[17,5, 33,2]	66	507,7	8,4	1,6	56,1	11,1
[7,5, 12,5[	Toutes	44	30,5	-1,2	-4,0	5,0	16,4
[12,5, 17,5[	Toutes	96	112,2	-2,1	-1,9	11,1	9,9
[17,5, 22,5[	Toutes	69	229,8	2,8	1,2	15,4	6,7
[22,5, 49,9]	Toutes	31	823,5	18,9	2,3	81,0	9,8
[7,5, 12,5[	[7,5, 12,5[	27	29,2	0,0	-0,1	4,3	14,7
[12,5, 17,5[	[7,5, 12,5[	37	82,0	2,0	2,5	8,7	10,6
[12,5, 17,5[	[12,5, 17,5[	51	121,8	-6,1	-5,0	11,9	9,7
[17,5, 22,5[	[12,5, 17,5[	24	204,4	3,0	1,5	11,4	5,6
[17,5, 22,5[	[17,5, 33,2]	35	274,2	3,7	1,3	18,4	6,7
[22,5, 49,9]	[17,5, 33,2]	23	973,2	16,9	1,7	91,9	9,4

\* Seules les classes avec au moins 10 tiges sont présentées.

## 2.2 Relation entre la hauteur dominante et l'âge, et détermination de l'indice de qualité de station

Les valeurs des paramètres de l'équation [9] pour l'estimation de la croissance de la hauteur dominante en fonction de l'âge de la plantation sont  $\hat{\beta}_0 = 148,2581$  (erreur type de 30,9078) et  $\hat{\beta}_2 = -0,4405$  (erreur type de 0,03310). La variance de l'effet aléatoire de parcelle  $\hat{\sigma}_{parcelle}^2$  est de 1653,66 (erreur type de 1018,66) et la variance résiduelle  $\hat{\sigma}_{res}^2$  est de 0,6528 (erreur type de 0,0680). La région écologique, la densité de reboisement, le type de plants (produits en récipients ou à racines nues) ainsi que le type de dépôt cartographique ont été testés comme variables explicatives à l'intérieur du modèle de croissance. Cependant, aucune de ces variables n'a permis d'améliorer celui-ci de manière significative. Par ailleurs, l'ajout de la correction présentée à l'équation [10] pour la prévision marginale sur la hauteur dominante n'a pas changé les résultats de manière significative. Cette correction n'a donc pas été utilisée. Pour l'ensemble des périodes, la validation croisée indique un biais de -0,16 % (-0,02 m) et une erreur de 7 % (1,0 m) de la valeur moyenne de la hauteur dominante. Le biais est de 0,58 % (0,08 m) avec une erreur de 8,1 % (1,06 m) au premier pas de simulation, alors qu'il est de -0,58 % (-0,08 m) avec une erreur de 10,3 % (1,48 m) au second pas de simulation. L'examen graphique des résidus indique que l'homogénéité de la variance et la normalité des résidus étaient respectées.

La valeur  $H_{100,2}$  de l'équation [9] correspond à l'IQS<sub>25</sub> lorsque la variable  $A_2$  prend la valeur de l'âge de référence, soit 25 ans. La figure 4 présente les courbes de hauteur dominante pour des IQS<sub>25</sub> variant de 4 à 16 m. L'annexe 16 présente ces valeurs sous la forme d'un tableau. La croissance annuelle maximale en hauteur dominante (77,7 cm) est obtenue à 11 ans pour l'IQS<sub>25</sub> de 16 m, alors que la valeur maximale pour l'IQS<sub>25</sub> de 4 m, qui est 3 fois moindre (25,892 cm), est obtenue à 32 ans (Annexe 17). Il est à noter que chaque courbe a été obtenue en effectuant plusieurs pas de simulation à partir d'une hauteur dominante donnée à 25 ans, mais que le modèle n'a été validé que sur 2 pas de simulation. Toutefois, puisque le modèle provient d'une fonction de croissance, la forme de la courbe est contrôlée et permet de fournir des estimations valables (Berrill et Hay 2005).

## 2.3 Tables de rendement

Les paramètres des équations [13] à [24] ainsi que leurs erreurs types sont présentés au tableau 18. Les tables de rendement sont produites à l'aide de ces

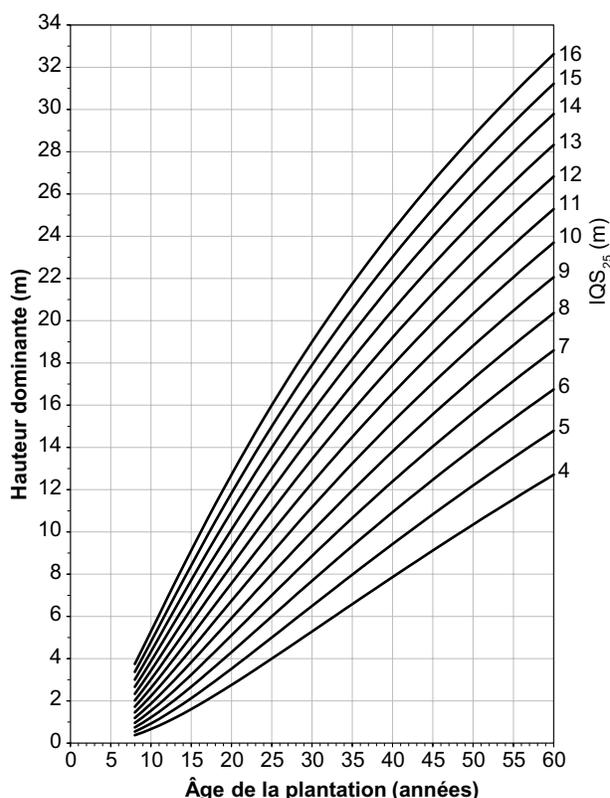


Figure 4. Courbes d'indices de qualité de station de l'épinette de Norvège.

équations ainsi que de l'équation [12] qui permet de calculer le nombre de tiges en fonction de la surface terrière et du DHP. Les résultats varient selon l'âge, la hauteur dominante (ou l'IQS) et l'espacement initial moyen. Les annexes 18 à 30 présentent les tables de rendement pour un espacement initial de 2,236 m, qui correspond à la densité de reboisement la plus utilisée actuellement, soit 2 000 plants à l'hectare. Dans ces tables, les prévisions sont présentées pour des âges variant de 8 à 70 ans et selon des diamètres minimaux d'utilisation de 0 cm (total), 9 cm (portion marchande), 12 et 15 cm. Les IQS<sub>25</sub> varient de 4 à 16 m par intervalles de 1 m (une annexe par IQS). Pour des espacements initiaux différents de celui utilisé dans les annexes 18 à 30, le lecteur pourra générer les tables en faisant varier l'espacement à l'intérieur des équations [13] à [24], puis calculer le nombre de tiges à l'aide de l'équation [12].

Les résultats de la validation croisée sont présentés au tableau 19. Les modèles de surface terrière, de volume et du nombre de tiges ont tendance à surestimer les valeurs observées tandis que les modèles utilisés pour le diamètre quadratique moyen ont tendance à sous-estimer les valeurs observées. Le biais de la surface terrière marchande ( $G_0$ ) et du volume marchand ( $V_0$ ) indiquent une surestimation de 1,9 % et de 2,1 %, respectivement.

**Tableau 18.** Paramètres et erreurs types (entre parenthèses) des modèles des tables de rendement.

Modèle	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$\hat{\beta}_4$	$\hat{\beta}_5$	$\hat{\rho}$	$\hat{\sigma}^2$	R <sup>2</sup> (%)
$G_0$	-6,1922 (2,2097)	6,4927 (3,1683)	0,8049 (0,0548)	-0,3305 (0,1207)	0,2791 (0,0334)	-36,0663 (4,7584)	0,9412 (0,0146)	27,1411	90,5
$G_9$	0,9732 (0,0042)	0,3507 (0,0279)	0,0412 (0,0106)	415,9748 (165,8000)			0,8915 (0,0267)	2,8359	99,1
$G_{12}$	0,9778 (0,0114)	0,0326 (0,0110)	0,0683 (0,0070)	7,8672 (1,4219)			0,9008 (0,0185)	2,1192	98,7
$G_{15}$	0,9542 (0,0173)	0,0024 (0,0082)	0,0560 (0,0058)	4,8504 (1,0955)			0,9072 (0,0203)	2,7726	97,5
$V_0$	0,2696 (0,0074)	1,1481 (0,0049)	0,9755 (0,0078)	0,0371 (0,0106)			0,9080 (0,0196)	37,7638	99,8
$V_9$	0,9568 (0,0102)	0,1445 (0,0079)	7,1635 (1,0436)				0,8896 (0,0146)	129,2166	99,4
$V_{12}$	0,9247 (0,0095)	0,1372 (0,0055)	9,9542 (1,1937)				0,9140 (0,0098)	172,4086	99,1
$V_{15}$	0,8789 (0,0086)	0,1238 (0,0054)	13,3206 (2,1056)				0,9486 (0,0085)	232,1403	98,3
$Dq_0$	1,2840 (0,1013)	0,4581 (0,0234)	0,7985 (0,0257)	0,2305 (0,0451)	5,2295 (2,8444)		0,9281 (0,0170)	1,4532	95,2
$Dq_9$	7,3722 (0,1419)	-0,0046 (0,0040)	0,3331 (0,0244)	0,0157 (0,0006)			0,9217 (0,0180)	0,2400	99,3
$Dq_{12}$	2,8181 (0,1156)	-0,0213 (0,0020)	0,9333 (0,0106)				0,8759 (0,0192)	0,0912	99,8
$Dq_{15}$	3,3756 (0,2345)	-0,0188 (0,0028)	0,9199 (0,0173)				0,8704 (0,0175)	0,1182	99,8

**Tableau 19.** Évaluation des modèles des tables de rendement (valeurs relatives entre parenthèses).

Modèle	n	Biais*	Erreur*
$G_0$	503	-0,28 (-1,0 %)	6,44 (21,8 %)
$G_9$	503	-0,51 (-1,9 %)	7,00 (25,7 %)
$G_{12}$	503	-0,80 (-3,4 %)	7,36 (31,2 %)
$G_{15}$	503	-0,72 (-4,0 %)	7,26 (39,9 %)
$V_0$	503	-0,11 (-0,1 %)	41,35 (22,9 %)
$V_9$	503	-3,19 (-2,1 %)	41,08 (26,7 %)
$V_{12}$	503	-4,85 (-4,0 %)	41,45 (33,9 %)
$V_{15}$	503	-5,67 (-6,6 %)	41,76 (48,6 %)
$Dq_0$	503	0,02 (0,2 %)	1,46 (11,4 %)
$Dq_9$	459	0,05 (0,3 %)	1,29 (8,5 %)
$Dq_{12}$	423	0,10 (0,6 %)	1,23 (7,3 %)
$Dq_{15}$	377	0,14 (0,7 %)	1,22 (6,5 %)
$N_0$	503	-91,54 (-4,2 %)	629,35 (28,7 %)
$N_9$	459	-70,17 (-4,6 %)	462,83 (30,4 %)
$N_{12}$	423	-79,28 (-6,8 %)	405,89 (35,1 %)
$N_{15}$	377	-41,35 (-5,2 %)	307,06 (38,5 %)

\* Les unités de mesures du biais et de l'erreur sont les suivantes : m<sup>2</sup>.ha<sup>-1</sup> pour  $G_0$  à  $G_{15}$ ; m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> pour  $V_0$  à  $V_{15}$ ; cm pour  $Dq_0$  à  $Dq_{15}$  et tiges par hectare pour  $N_0$  à  $N_{15}$ .

Tous les autres modèles indiquent un biais inférieur ou égal à 6,8 %. La surestimation des modèles de surface terrière et de volume est observée principalement pour de faibles IQS, soit pour les stations les moins productives.

## 2.4 Modèles de croissance

Les valeurs et les erreurs types des paramètres des modèles de croissance de la surface terrière totale, du volume total et du diamètre quadratique moyen de toutes les tiges sont présentés au tableau 20. Les valeurs estimées pour des diamètres minimaux d'utilisation de 9, 12 et 15 cm peuvent être obtenus avec les modèles [14] à [16] pour la surface terrière, [18] à [20] pour le volume et [22] à [24] pour le diamètre quadratique moyen.

Les résultats de la validation croisée sont présentés au tableau 21. Tous mesurages confondus, les modèles de volume ont tendance à sous-estimer les valeurs observées. Un biais maximal de 3,8 % est observé pour le volume avec un diamètre minimal au fin bout de 15 cm ( $V_{15}$ ). Au deuxième mesurage, tous les biais en valeur absolue sont inférieurs à 6 %, à l'exception du nombre de tiges pour un diamètre minimal au

fin bout de 12 et de 15 cm ( $N_{12}$  et  $N_{15}$ ), dont les biais respectifs en valeur absolue atteignent 11,5 et 7,6 %. Au troisième mesurage, tous les biais en valeur absolue sont inférieurs ou égaux à 4,2 %. Plus particulièrement, le biais de la surface terrière marchande ( $G_9$ ), est passé de -1,6 % au deuxième

mesurage à 3,6 % au troisième mesurage, et celui du volume marchand ( $V_9$ ), est passé de -3,6 % à 4,2 %. Généralement, l'erreur augmente avec le nombre de pas de simulations (Ochi et Cao 2003), ce qui est le cas dans cette étude.

Tableau 20. Paramètres et erreurs types (entre parenthèses) des modèles de croissance.

Modèle	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$\hat{\beta}_4$	$\hat{\rho}$	$\hat{\sigma}^2$	R <sup>2</sup> (%)
$G_0$	4,8777 (0,1086)	-4,8072 (0,1169)	0,9793 (0,0031)			0,7980 (0,0449)	7,8978	96,6
$V_0$	0,9341 (0,0994)	1,0988 (0,0307)	0,0440 (0,0011)			0,7899 (0,0452)	804,9480	97,0
$Dq_0$	7,4074 (0,1669)	-2,7034 (0,1805)	-0,1099 (0,0483)	0,6098 (0,0507)	-0,4959 (0,0012)	0,7982 (0,0679)	0,3973	98,5

Tableau 21. Évaluation des modèles de croissance (valeurs relatives entre parenthèses).

Modèle	Tous les mesurages			Mesurage 2			Mesurage 3		
	n	Biais*	Erreur*	n	Biais	Erreur	n	Biais	Erreur
$G_0$	250	0,46 (1,3 %)	3,66 (10,3 %)	138	-0,04 (-0,1 %)	2,84 (9,1 %)	76	0,89 (2,3 %)	4,57 (12,0 %)
$G_9$	250	0,45 (1,3 %)	4,09 (12,1 %)	138	-0,46 (-1,6 %)	3,40 (11,7 %)	76	1,34 (3,6 %)	4,96 (13,4 %)
$G_{12}$	250	-0,08 (-0,3 %)	4,94 (16,5 %)	138	-1,44 (-5,9 %)	4,34 (17,6 %)	76	0,93 (2,8 %)	5,71 (17,0 %)
$G_{15}$	250	0,16 (0,7 %)	6,01 (24,8 %)	138	-1,01 (-5,3 %)	5,05 (26,2 %)	76	0,50 (1,8 %)	7,22 (26,2 %)
$V_0$	250	4,19 (1,8 %)	36,82 (15,4 %)	138	-3,09 (-1,6 %)	26,52 (14,1 %)	76	9,85 (3,7 %)	42,92 (16,1 %)
$V_9$	250	3,55 (1,7 %)	38,60 (18,4 %)	138	-5,65 (-3,6 %)	29,31 (18,5 %)	76	9,95 (4,2 %)	45,21 (19,0 %)
$V_{12}$	250	3,82 (2,2 %)	42,78 (24,7 %)	138	-5,79 (-4,6 %)	33,72 (27,0 %)	76	8,23 (4,2 %)	50,00 (25,2 %)
$V_{15}$	250	4,92 (3,8 %)	47,65 (37,2 %)	138	-4,56 (-5,3 %)	36,58 (42,8 %)	76	5,87 (4,0 %)	55,96 (38,1 %)
$Dq_0$	250	0,12 (0,8 %)	0,89 (5,9 %)	138	0,03 (0,2 %)	0,68 (5,0 %)	76	0,16 (1,0 %)	1,06 (6,5 %)
$Dq_9$	250	-0,02 (-0,1 %)	0,95 (5,9 %)	138	-0,08 (-0,5 %)	0,78 (5,3 %)	76	-0,005 (-0,03 %)	1,05 (6,2 %)
$Dq_{12}$	242	0,05 (0,3 %)	1,01 (5,8 %)	130	0,07 (0,4 %)	0,89 (5,4 %)	76	-0,05 (-0,3 %)	1,10 (6,2 %)
$Dq_{15}$	220	0,11 (0,6 %)	1,09 (5,6 %)	108	0,16 (0,9 %)	0,99 (5,3 %)	76	-0,03 (-0,2 %)	1,16 (6,0 %)
$N_0$	250	9,04 (0,4 %)	187,89 (9,0 %)	138	0,42 (0,02 %)	154,30 (7,1 %)	76	16,40 (0,8 %)	205,72 (10,5 %)
$N_9$	250	8,82 (0,6 %)	265,93 (16,7 %)	138	-36,68 (-2,4 %)	273,28 (17,9 %)	76	63,45 (3,8 %)	257,07 (15,4 %)
$N_{12}$	242	-52,74 (-4,5 %)	267,55 (22,7 %)	130	-124,79 (-11,5 %)	291,27 (26,8 %)	76	16,06 (1,3 %)	246,78 (19,4 %)
$N_{15}$	220	-25,71 (-3,0 %)	249,41 (29,2 %)	108	-62,90 (-7,6 %)	251,65 (30,5 %)	76	-15,93 (-1,9 %)	261,46 (30,7 %)

\* Les unités de mesures du biais et de l'erreur sont les suivantes : m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup> pour  $G_0$  à  $G_{15}$ ; m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> pour  $V_0$  à  $V_{15}$ ; cm pour  $Dq_0$  à  $Dq_{15}$  et tiges par hectare pour  $N_0$  à  $N_{15}$ .

# Chapitre trois

## Discussion

### 3.1 Tarif de cubage

Guinaudeau et Duplat (1994) ont évalué la précision de 9 tarifs français et belges pour l'épinette de Norvège. Parmi ceux-ci, les tarifs « ONF Jura 1976 », « ONF 1979 » et « AFOCEL-ONF 1994 », ont été jugés les meilleurs. Ils estiment le volume d'une tige avec écorce pour un diamètre minimal au fin bout de 7 cm. Nous avons pu calculer ces valeurs à l'aide de l'équation de défilement de la présente étude. La figure 5 compare les volumes estimés à l'aide de notre tarif à ceux de 2 des meilleurs tarifs étudiés par Guinaudeau et Duplat (1994), soit « ONF Jura 1976 » et « AFOCEL-ONF 1994 »; le tarif « ONF 1979 » n'est pas présenté puisqu'il fournit, selon les auteurs, des estimations presque identiques à celles du tarif « AFOCEL-ONF 1994 ». On observe que ces 3 tarifs fournissent des estimations de volume très semblables, quelles que soient les valeurs de hauteur ou de DHP.

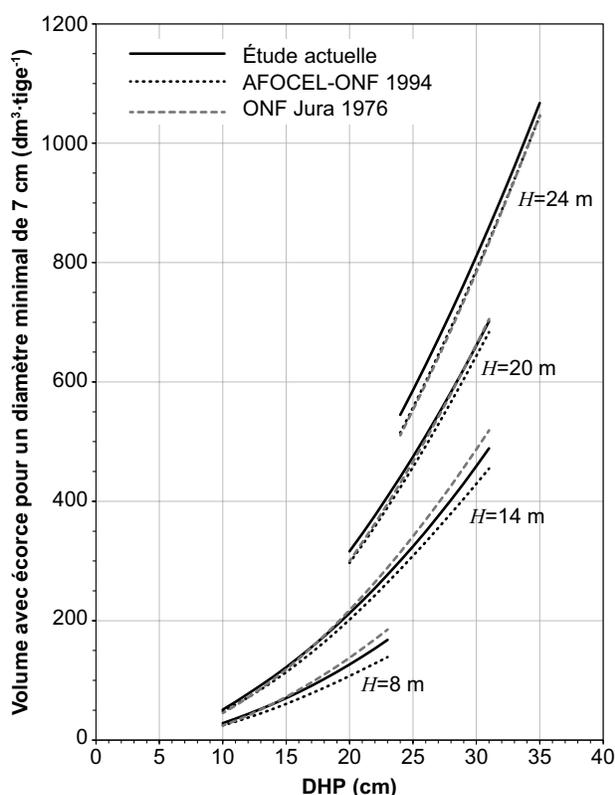


Figure 5. Comparaison de tarifs de cubage pour l'estimation du volume avec écorce de tiges d'épinette de Norvège avec un diamètre minimal au fin bout de 7 cm, pour 4 hauteurs totales ( $H$ ) différentes.

La figure 6 compare le volume marchand estimé par le tarif à 2 entrées mis au point dans cette étude à celui utilisé par Bolghari et Bertrand (1984). Compte tenu de l'importance de la comparaison de la productivité de l'épinette de Norvège par rapport à celle de l'épinette blanche (Section 3.5), nous y avons ajouté le plus récent tarif pour cette dernière espèce (Prégent *et al.* 2010). Ici encore, les différences entre ces 3 tarifs sont minimales.

Malgré les faibles écarts entre ces différents tarifs à 2 entrées et leur grande précision, le cubage des tiges peut être la cause d'importantes erreurs d'estimation des volumes. Ces erreurs ne sont pas forcément liées au tarif de cubage à 2 entrées, mais plutôt à l'estimation de la hauteur. L'utilisation de tarifs à 2 entrées suppose que le DHP et la hauteur sont mesurés. Or, la hauteur est rarement mesurée sur tous les arbres, puisque cette variable

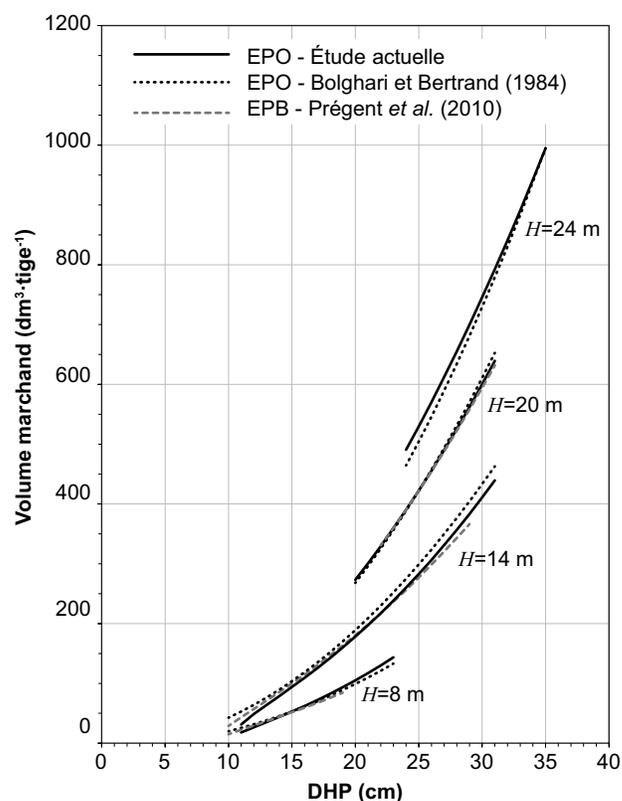


Figure 6. Comparaison du volume marchand estimé par les tarifs de cubage de Bolghari et Bertrand (1984) et celui de l'étude actuelle pour l'épinette de Norvège (EPO) ainsi que celui de Prégent *et al.* (2010) pour l'épinette blanche (EPB), pour 4 hauteurs totales ( $H$ ) différentes.

est longue à mesurer et par conséquent, coûteuse à obtenir. La hauteur est généralement estimée à partir du DHP mesuré. La relation entre la hauteur et le DHP n'est pas unique puisqu'elle varie selon plusieurs paramètres comme le nombre de tiges (Staudhammer et LeMay 2000), les éclaircies (Vospersnik *et al.* 2010), le degré de compétition (Knowe 1994), la génétique (Kroon *et al.* 2008, Prigent 1998a), l'âge (Lappi 1997) et les classes sociales à l'intérieur d'une plantation (Meng *et al.* 2008). Par conséquent, une relation unique entre la hauteur et le DHP ne peut servir à représenter toutes les conditions possibles. Toutefois, l'ajout de variables caractérisant le peuplement, comme nous l'avons fait dans cette étude (équation [2]), permet d'intégrer la dynamique propre à chacun des peuplements dans le modèle (Castedo Dorado *et al.* 2006). L'utilisation d'une relation unique entre la hauteur et le DHP peut sous-estimer la hauteur. Par le fait même, le volume sera sous-estimé lorsque le nombre de tiges est élevé ou que la compétition est forte, ou encore, en présence de tiges opprimées ou intermédiaires ou de vieux arbres (ou encore, de grands arbres). Les situations inverses mèneront à des surestimations. Tout ceci implique que l'utilisation d'une relation unique tend à sous-estimer la croissance en hauteur et en volume entre deux périodes. Des biais importants peuvent apparaître si l'on s'éloigne des conditions moyennes ayant servi à établir la relation entre la hauteur et le DHP. Si un biais dans l'estimation de petites tiges entraîne peu d'effets sur l'estimation de la production en volume à maturité, il en va tout autrement pour l'estimation de la hauteur et du volume de grosses tiges. Pour illustrer l'ampleur potentielle du problème, nous avons utilisé les données d'une des parcelles les plus vieilles de l'étude pour laquelle nous avons les hauteurs mesurées de tous les arbres. Cette plantation était âgée de 66 ans et comprenait 934 tiges à l'hectare, ce qui correspond à une forte densité compte tenu de l'âge avancé de la plantation. Nous avons estimé les hauteurs de deux façons : 1) à partir de la relation paramétrée de la section 2.1.2 et 2) selon l'équation unique de Bolghari et Bertrand (1984). Par rapport à la hauteur moyenne mesurée de 28,2 m, la hauteur moyenne estimée avec la relation paramétrée était de 27,4 m, soit un écart de 2,8 %. La hauteur estimée à l'aide de la relation unique de Bolghari et Bertrand n'était que de 21,3 m, soit un écart de 24,5 %. Le volume marchand estimé à l'aide des hauteurs mesurées, soit la méthode la plus précise, était de 765,9 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>. L'écart en volume marchand était de 18,1 m<sup>3</sup>/ha (2,4 %) si l'on utilisait le tarif paramétré, mais de 202,7 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> (26,5 %) si l'on utilisait la relation unique. Ainsi, des biais d'une grande

ampleur peuvent être introduits par l'estimation des hauteurs à l'aide d'une relation unique avec le DHP, et ces biais peuvent être considérables pour des tiges très hautes.

Le domaine bioclimatique (Saucier *et al.* 1998) a été testé comme variable explicative dans le tarif de cubage, mais il n'a pas permis d'améliorer significativement son pouvoir de prédiction. Par conséquent, les données disponibles ne permettent pas d'affirmer que la forme des tiges d'épinette de Norvège varie selon les domaines bioclimatiques.

### 3.2 Relation entre la hauteur dominante et l'âge

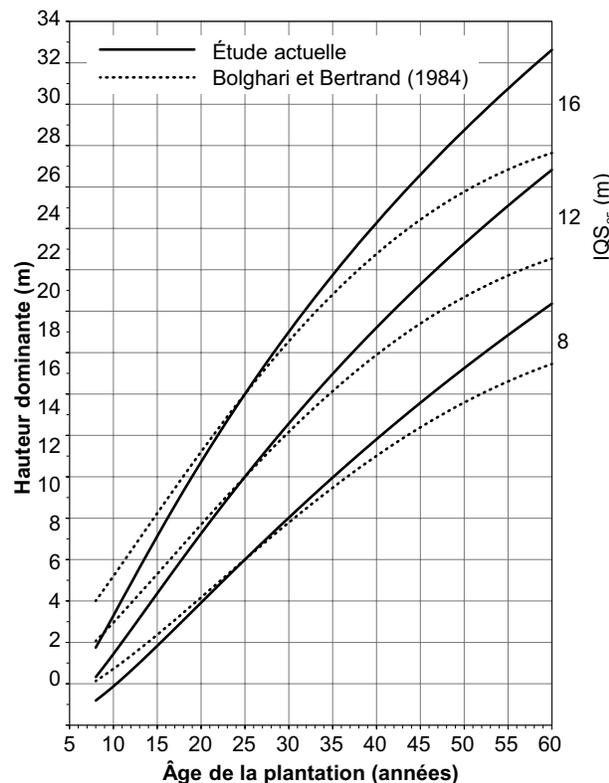
La hauteur dominante correspond à la hauteur moyenne d'un nombre déterminé d'arbres parmi les plus gros ou les plus hauts (Rondeux 1993). Bolghari et Bertrand (1984) ont utilisé la seconde approche pour l'étude du rendement des plantations. Cette approche a été conservée pour les études subséquentes de plantations (Prigent *et al.* 1996, 2010) de même que dans la présente étude. La corrélation entre les hauteurs dominantes obtenues par les 2 méthodes est très forte ( $r = 0,998$  avec les données de la présente étude). Néanmoins, il est essentiel que l'utilisateur du modèle détermine la hauteur dominante avec la même méthode que lors de sa calibration.

Le modèle utilisé pour décrire la relation entre la hauteur dominante et l'âge, décrit à la section 1.2, fournit de meilleures estimations que le modèle utilisé par Bolghari et Bertrand (1984). Ainsi, l'équation [9] permet d'obtenir un coefficient de détermination de 97,0 % au lieu de 89,0 %, et une erreur quadratique moyenne de 0,98 m au lieu de 1,76 m. Ces améliorations peuvent s'expliquer par l'utilisation, dans la présente étude, de parcelles à mesures répétées dans le temps permettant de mettre au point une équation de différence, par l'obtention de courbes polymorphiques, et par la disponibilité d'un plus grand nombre de données.

À la suite des 2 conversions présentées à la section 1.2.2, les IQS<sub>25</sub> de 8, 12 et 16 m du modèle actuel correspondent respectivement aux IQS<sub>25</sub> de 5,74, 9,26 et 12,78 m de Bolghari et Bertrand (1984). La figure 7 permet de constater que la pente de la relation entre la hauteur dominante et l'âge est plus forte avec le modèle de la présente étude. Par rapport à celui-ci, le modèle de Bolghari et Bertrand prédit une hauteur dominante plus élevée pour des âges inférieurs à l'âge de référence (25 ans) et une hauteur dominante plus faible pour des âges supérieurs à l'âge de référence; ces écarts sont d'autant plus importants qu'on s'éloigne de l'âge de

référence. La relation entre la hauteur et le DHP ne peut ici être mise en cause pour expliquer les écarts observés à la figure 7, puisque dans les 2 études, la hauteur dominante a été mesurée et non estimée. Par ailleurs, contrairement à la présente étude, les hauteurs dominantes du modèle de Bolghari et Bertrand semblaient plafonner avant 30 m, ce qui est peu représentatif d'une essence qui peut atteindre plus de 50 m de hauteur (Lanier 1986). Pour la meilleure classe de fertilité, Decourt (1971) rapporte des hauteurs dominantes de 35,2 m à 45 ans pour le nord-est de la France, et de 30,8 m à 60 ans pour le Massif central (Decourt 1973).

Pour l'Ontario, Gordon et al. (1989) rapportent des IQS variant de 9,8 à 20,7 m à 30 ans d'âge total, soit une valeur maximale supérieure à celle de la présente étude. Pour la Suède, les hauteurs dominantes à 40 ans varient de 8 à 29 m (Johansson 1996); les valeurs estimées au même âge dans la présente étude varient de 7,9 à 24,3 m (Annexe 16). Johansson (1996) a observé que les courbes d'IQS étaient valables autant pour les terres agricoles qu'en milieu forestier.



Note. Les IQS<sub>25</sub> de 8, 12 et 16 m de l'étude actuelle correspondent à des IQS<sub>25</sub> estimés de 5,74, 9,26 et 12,78 m respectivement selon le modèle de Bolghari et Bertrand (1984).

Figure 7. Hauteur dominante en fonction de l'âge de la plantation selon les tables de Bolghari et Bertrand (1984) et celles de l'étude actuelle pour les plantations d'épinette de Norvège selon divers IQS<sub>25</sub>.

### 3.3 Tables de rendement

L'effet combiné de la qualité de la station et de l'espacement initial sur la production en volume marchand estimée avec les modèles des tables de rendement est illustré à la figure 8. Les espacements initiaux de 2,0, 2,236 et 2,5 m, soit un intervalle choisi parmi les espacements les plus fréquents, ainsi que les IQS<sub>25</sub> de 8 m (station peu fertile), de 12 m (station moyennement fertile) et de 16 m (station très fertile) y sont présentés. Une hausse de l'espacement initial de 2,0 à 2,236 m correspond à une baisse de la densité de reboisement de 2500 à 2000 plants à l'hectare, soit celle appliquée en forêt publique au Québec depuis le milieu des années 1990. Selon les tables de rendement, cette baisse de 20 % de la densité de reboisement a entraîné une diminution de production en volume marchand à 70 ans de 22,4 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> pour les stations peu fertiles, de 41,3 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> pour les stations moyennement fertiles et de 63,7 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> pour les stations très fertiles. Pour une telle baisse de la densité de reboisement, Bolghari et Bertrand (1984) rapportent une baisse de la production en volume marchand de moins de 3 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>. Comme

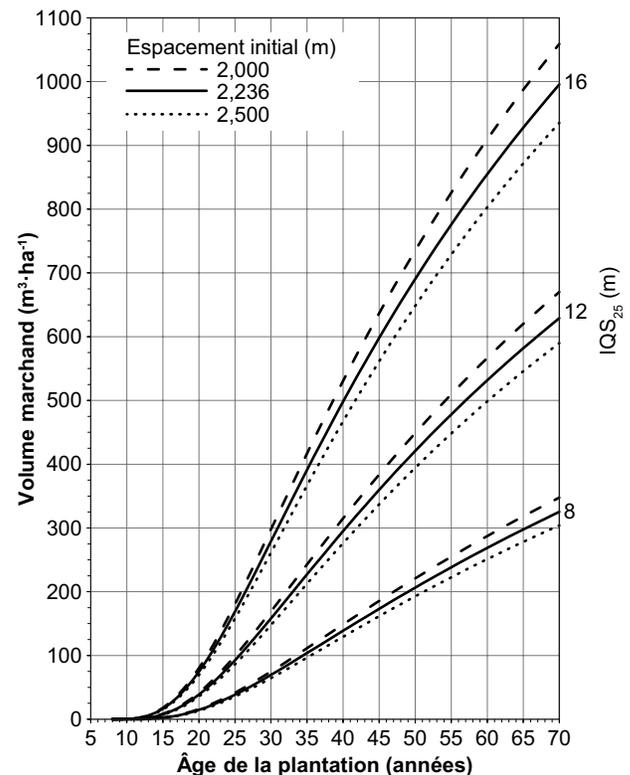


Figure 8. Volume marchand estimé à partir des modèles des tables de rendement selon divers IQS<sub>25</sub> et espacements initiaux, pour les plantations d'épinette de Norvège.

nous l'avons mentionné précédemment, les plus grands écarts observés dans cette étude résultent, en partie du moins, de l'utilisation d'un tarif de cubage dépendant de la hauteur dominante et du DHP des arbres dominants. Ce tarif fournit des estimations plus précises de la hauteur et du volume, particulièrement pour les tiges hautes et celles provenant de densités de reboisement s'éloignant de la moyenne. Néanmoins, la baisse de 20 % de la densité de reboisement équivaut seulement à des diminutions de production en volume marchand de moins de 6,4 % pour les 3 qualités de station mentionnées. Il est important de souligner que le gain de production en volume lié à une augmentation de la densité de reboisement est composé de bois de faibles dimensions et de faible valeur. L'effet de la qualité de la station sur la production en volume marchand est beaucoup plus marqué que celui de l'espacement initial. Pour un espacement initial de 2,236 m, la production en volume marchand à 70 ans passe de 325,2 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> pour une station peu fertile à 995,5 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> pour une station très fertile, soit une augmentation de plus de 206 %. Il faut noter que ce niveau de productivité est atteint au moment où la hauteur dominante estimée est de plus de 36 m.

La figure 9 illustre les effets de la qualité de la station et de l'espacement initial sur la croissance en diamètre des tiges. Une hausse de l'espacement initial de 2,0 à 2,236 m entraîne une hausse de la croissance en diamètre à 70 ans allant de 5,2 à 5,5 % selon la qualité de la station analysée. Cette hausse de l'espacement initial a des répercussions beaucoup plus importantes sur la production en volume par tige. La figure 10 permet d'observer qu'une hausse de l'espacement de 2,0 à 2,236 m équivaut à une hausse du volume marchand de 40,6 dm<sup>3</sup> par tige à 70 ans (11,8 %) pour les stations les moins fertiles, de 96,1 dm<sup>3</sup> (13,6 %) pour les stations moyennement fertiles et de 178,8 dm<sup>3</sup> (14,6 %) pour les stations les plus fertiles. Ainsi, l'effet de l'espacement initial est plus marqué sur le volume par tige que pour celui à l'hectare. De plus, ces 2 dernières variables sont inversement proportionnelles : la production en volume à l'hectare est maximale avec une forte densité de reboisement, alors que la production en volume par tige est maximale avec une faible densité de reboisement. Tout comme pour le volume à l'hectare, l'effet de la qualité de la station sur le volume moyen par tige est plus marqué que celui de l'espacement initial. Pour un espacement initial de 2,236 m, le volume marchand par tige à 70 ans passe de 384,4 à 1 406,1 dm<sup>3</sup> lorsque l'IQS<sub>25</sub> passe de 8 à 16 m, soit une augmentation de 266 %.

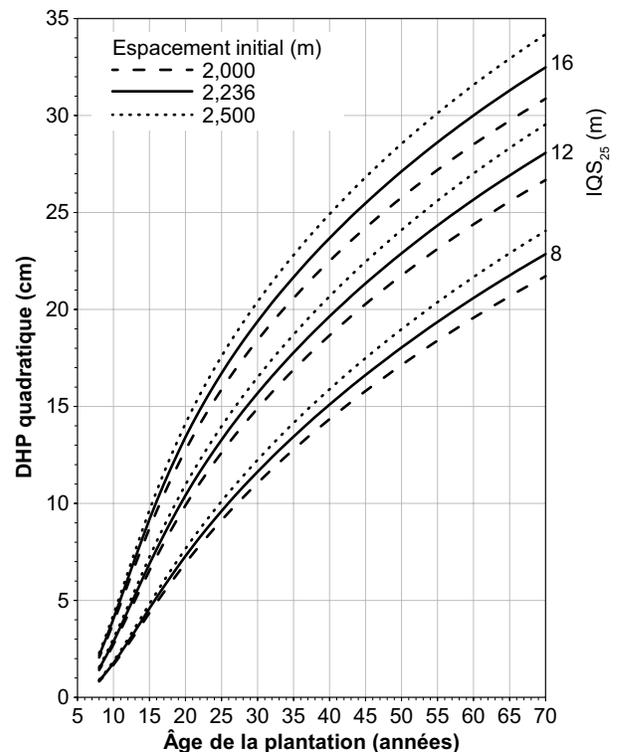


Figure 9. DHP quadratique estimé à partir des modèles des tables de rendement selon divers IQS<sub>25</sub> et espacements initiaux, pour les plantations d'épinette de Norvège.

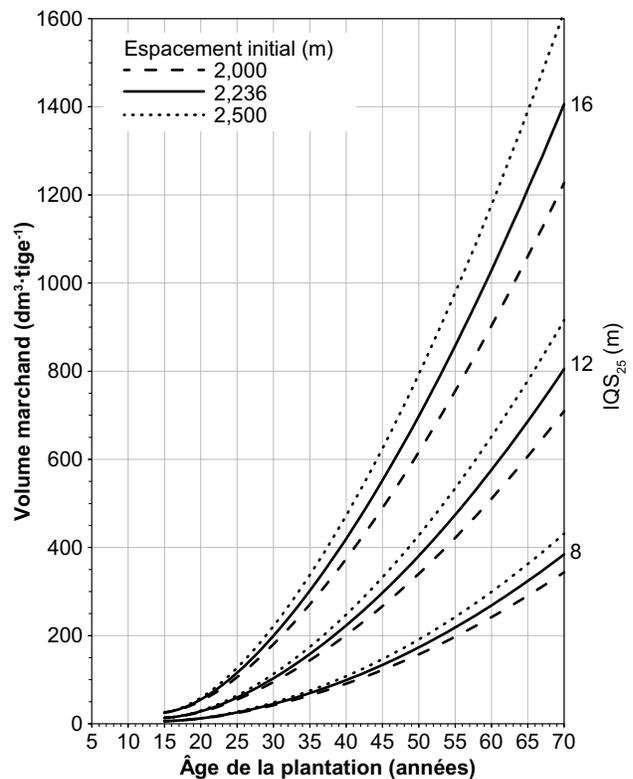


Figure 10. Volume marchand par tige estimé à partir des modèles des tables de rendement selon divers IQS<sub>25</sub> et espacements initiaux, pour les plantations d'épinette de Norvège.

L'accroissement annuel moyen en volume marchand est présenté à la figure 11. Pour l'IQS<sub>25</sub> de 16 m et le plus grand espacement analysé, soit 2,5 m, la valeur maximale de 13,4 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> est atteinte à 64 ans; pour les espacements de 2,236 et 2,0 m, des valeurs maximales de 14,3 et 15,2 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> respectivement sont atteintes au même âge. Ces valeurs sont légèrement inférieures à celles estimées pour les meilleures stations du Massif central et du nord-est de la France (Decourt 1971, 1973). Pour un IQS<sub>25</sub> de 12 m, les valeurs maximales d'accroissement annuel moyen en volume marchand sont atteintes à 71 ans; elles sont de 8,4 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> pour l'espacement de 2,5 m, de 9,0 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> pour l'espacement de 2,236 m et de 9,6 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> pour l'espacement de 2,0 m. Pour l'IQS<sub>25</sub> de 8 m, les valeurs maximales seraient de 4,4 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> pour l'espacement de 2,5 m, de 4,7 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> pour l'espacement de 2,236 m et de 5,0 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> pour l'espacement de 2,0 m. L'extrapolation des modèles indique que ces valeurs seraient atteintes vers l'âge de 82 ans. En France, Riou-Nivert (1998) mentionne des niveaux de productivité pour cette essence variant de 8 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>·an<sup>-1</sup> à 24 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>·an<sup>-1</sup>, et des âges d'exploitabilité variant de 40 à 100 ans. Ces intervalles comprennent les valeurs de la présente

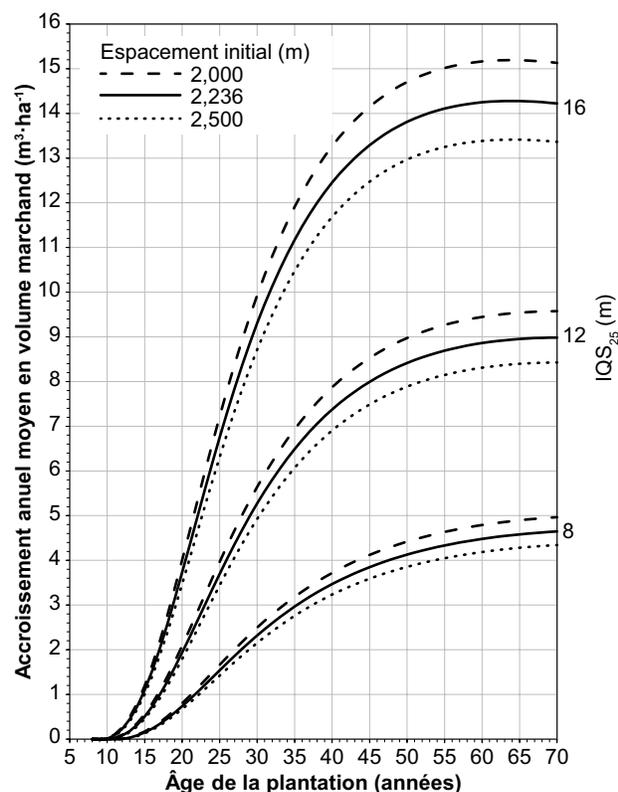


Figure 11. Accroissement annuel moyen en volume marchand estimé à partir des modèles des tables de rendement selon divers IQS<sub>25</sub> et espacements initiaux, pour les plantations d'épinette de Norvège.

étude. En Suède, l'accroissement annuel moyen en volume marchand culminerait plus tardivement, soit de 82 ans sur les meilleures stations à 106 ans sur les moins bonnes (Johansson et Karlsson 1988, cité dans Johansson 1996). Au nord de la Finlande, les âges de rotation excéderaient souvent 80 ans (Jaakkola et al. 2005).

La surface terrière totale est un paramètre important pour estimer la productivité d'un peuplement, mais également pour déterminer le moment pour réaliser les éclaircies. La figure 12 illustre la relation entre la surface terrière totale et l'âge de la plantation pour divers espacements initiaux et divers IQS<sub>25</sub>. Pienaar et Turnbull (1973) et Holmsgaard (1958) indiquent des surfaces terrières maximales de 77 et 80 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup>, respectivement, c'est-à-dire des valeurs légèrement supérieures à celles estimées dans la présente étude.

Le volume marchand estimé diffère considérablement de celui des tables de Bolghari et Bertrand (1984) (Figure 13). Pour un espacement initial de 2,236 m et des IQS<sub>25</sub> de 8, 12 et 16 m, le volume marchand estimé à 60 ans dans la présente étude est de 269, 532 et 855 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>, respectivement. Pour ces mêmes caractéristiques et selon les corrections

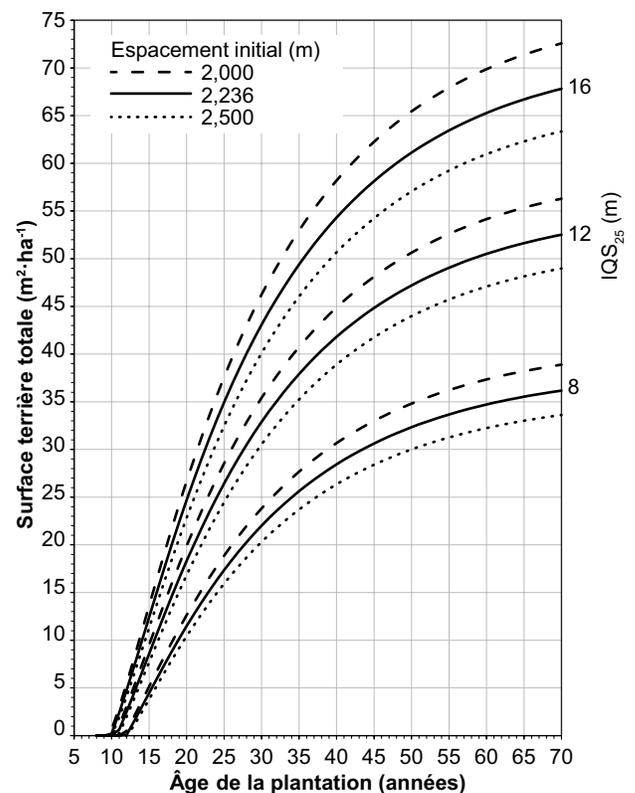
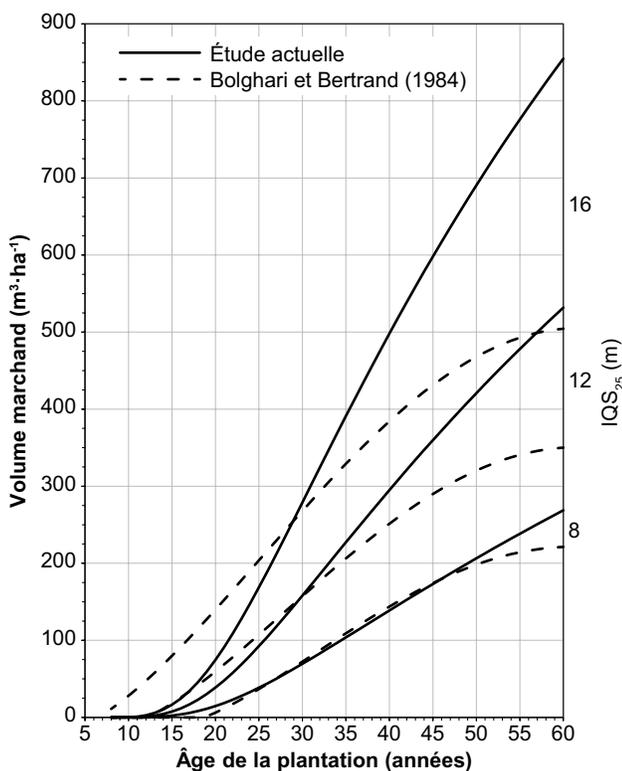


Figure 12. Surface terrière totale estimée à partir des modèles des tables de rendement selon divers IQS<sub>25</sub> et espacements initiaux, pour les plantations d'épinette de Norvège.

mentionnées à la section 1.2, les volumes estimés par les tables de Bolghari et Bertrand (1984) ne sont que de 221, 350 et 504  $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  respectivement. La productivité de l'épinette de Norvège apparaît donc beaucoup plus grande et plus réaliste avec ces nouveaux modèles que celle anticipée avec les tables de rendement antérieures de Bolghari et Bertrand (1984). Cette amélioration peut s'expliquer par l'utilisation de nouveaux modèles pour l'élaboration des tables de rendement, par la disponibilité de données plus nombreuses et mieux distribuées, mais surtout, par l'estimation de la hauteur par une relation paramétrée plutôt qu'à partir d'une relation unique avec le DHP. Rappelons que la relation unique utilisée par Bolghari et Bertrand pour estimer la hauteur à partir du DHP entraînait une sous-estimation de la hauteur et du volume des vieilles tiges ainsi que de la croissance entre 2 périodes, d'où les pentes plus faibles à la figure 13. Les valeurs maximales pour la production en volume des tables de Bolghari et Bertrand n'excédaient pas 560  $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  alors que des valeurs largement supérieures avaient déjà été observées au Québec.



Note. Les  $\text{IQS}_{25}$  de 8, 12 et 16 m de l'étude actuelle correspondent à des  $\text{IQS}_{25}$  estimés de 5,74, 9,26 et 12,78 m respectivement selon le modèle de Bolghari et Bertrand (1984).

Figure 13. Volume marchand estimé en fonction de l'âge selon les tables de rendement de Bolghari et Bertrand (1984) et celles de l'étude actuelle, pour un espacement initial de 2,236 m et divers  $\text{IQS}_{25}$ .

### 3.4 Modèles de croissance

L'utilisation de mesures répétées dans le temps a permis de construire des modèles de croissance qui estiment les diverses variables dendrométriques (surface terrière, volume et DHP quadratique) d'une plantation à partir de ses caractéristiques à un âge plus précoce. Les variables nécessaires pour l'utilisation des modèles de croissance sont l'âge de la plantation, la hauteur dominante, la surface terrière totale, l'espacement initial entre les plants et le nombre total de tiges. Ces modèles fournissent des estimations plus précises que celles issues des modèles associés aux tables de rendement de la présente étude. L'erreur relative obtenue par la validation croisée pour l'estimation de la surface terrière totale est de 21,8 % avec le modèle associé aux tables de rendement et de 10,3 % avec le modèle de croissance; pour l'estimation du volume marchand, ces valeurs sont de 26,7 et de 18,4 %, alors que pour l'estimation du diamètre quadratique moyen, elles sont de 11,4 et de 5,9 %, respectivement (tableaux 19 et 21). Ces valeurs d'erreur relative sont toutes inférieures à celles observées avec les modèles de croissance de l'épinette blanche (Prégent *et al.* 2010). Néanmoins, nous ne recommandons pas d'utiliser les modèles de croissance pour une projection dans le temps de plus de 20 ans. En effet, le comportement à long terme des modèles n'est pas contrôlé et l'évaluation ne peut être effectuée que sur 2 pas de simulation.

Les prévisions observées avec les modèles des tables de rendement et les modèles de croissance sont légèrement différentes. Comparativement aux estimations faites avec les tables de rendement, les productions estimées à l'aide des modèles de croissance sont plus fortes sur les stations peu fertiles et plus faibles sur les stations très fertiles; sur les stations moyennement fertiles, les modèles de croissance prédisent une production légèrement plus forte que les modèles de tables de rendement. Par conséquent, les écarts de production en surface terrière et en volume entre les différentes qualités de station sont moins importants avec les modèles de croissance. De même, les différences de production en surface terrière et en volume pour les divers espacements initiaux sont plus faibles avec les estimations des modèles de croissance qu'avec celles des tables de rendement.

### 3.5 Comparaisons de productivité avec l'épinette blanche

Les normes de la certification forestière permettent de reboiser avec une espèce exotique, pourvu que sa productivité soit supérieure à celles des espèces naturelles. Il importe donc de

comparer le niveau de productivité de l'épinette de Norvège à celui de l'épinette blanche (Prégent et al. 2010), qui est l'épinette indigène la plus productive au Québec. À partir du même réseau de parcelles, nous avons calculé les IQS<sub>25</sub> moyens et les volumes anticipés à 60 ans pour une densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare selon divers domaines bioclimatiques. Dans tous les cas, les IQS<sub>25</sub> moyens et le volume marchand anticipé à 60 ans sont plus grands avec l'épinette de Norvège (Tableau 22). L'écart de production en volume anticipé à 60 ans est de 26,3 % dans l'érablière à tilleul, de 36,5 % dans l'érablière à bouleau jaune, de 46,8 % dans la sapinière à bouleau jaune et de 74,6 % dans la sapinière à bouleau blanc. Les écarts de productivité s'accroissent du sud au nord. Le domaine bioclimatique semble moins influencer la productivité de l'épinette de Norvège que celle de l'épinette blanche. Les valeurs moyennes les plus élevées pour l'épinette de Norvège sont d'ailleurs observées dans le domaine bioclimatique le plus nordique parmi ceux étudiés, soit celui de la sapinière à bouleau blanc. Cependant, la taille de l'échantillon y est relativement faible. Soulignons toutefois que cette espèce ne semble pas adaptée aux domaines de la pessière.

Il est important de noter que ces parcelles ne font pas partie d'un dispositif expérimental, de sorte que les conditions pour différentes espèces dans un même domaine bioclimatique ne sont pas forcément similaires. Pour tenir compte de cette possibilité, nous présentons dans le même tableau les résultats pour les types écologiques les plus fréquents de la base de données : MJ14 (domaine de l'érablière à tilleul), MJ12 et MJ25 (érablière à bouleau jaune) ainsi que MS12, MS13 et RB13 (sapinière à bouleau jaune). Les écarts sont de nouveau à l'avantage de l'épinette de Norvège pour tous les types écologiques analysés, et s'accroissent du sud au nord.

Les différences de productivité selon la longitude sont plus difficiles à mettre en évidence avec les données dont nous disposons. Pour la sapinière à bouleau jaune, un avantage est observé pour la portion ouest, où IQS<sub>25</sub> moyen est de 13,8 m, comparativement à 11,4 m dans la partie est. L'inverse est observé pour la sapinière à bouleau blanc, avec un IQS<sub>25</sub> moyen de 11,6 m dans la partie ouest comparativement à 13,8 m dans la partie est. Les données de l'érablière à tilleul et de l'érablière à bouleau jaune proviennent presque toutes de la portion est.

**Tableau 22.** Comparaison des IQS<sub>25</sub> et des volumes marchands anticipés à 60 ans pour des plantations d'épinette blanche (EPB) et d'épinette de Norvège (EPO) selon les domaines bioclimatiques et pour quelques types écologiques les plus fréquents.

Domaine bioclimatique	Type écologique	Nombre d'observations		IQS <sub>25</sub> (m)				Volume marchand à 60 ans* (m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> )	
		EPB	EPO	Écart type		Moyenne		EPB	EPO
				EPB	EPO	EPB	EPO		
Érablière à tilleul	Tous	126	81	1,93	2,51	10,1	11,8	409,3	517,0
	<i>MJ14</i>	20	21	1,82	2,18	9,8	10,2	397,8	405,3
Érablière à bouleau jaune	Tous	127	45	1,98	2,14	10,3	12,5	416,9	569,0
	<i>MJ12</i>	30	15	1,42	1,73	10,7	11,3	431,8	481,1
	<i>MJ25</i>	14	8	1,86	2,25	10,5	13,2	424,4	622,7
Sapinière à bouleau jaune	Tous	262	216	2,17	2,68	8,9	12,0	362,1	531,7
	<i>MS12</i>	46	33	2,48	2,05	9,6	13,7	390,0	662,2
	<i>MS13</i>	42	68	1,94	2,80	8,5	11,9	345,7	524,4
	<i>RB13</i>	32	31	1,98	2,46	8,0	11,3	324,9	481,1
Sapinière à bouleau blanc	Tous	105	19	2,36	1,88	9,1	13,5	370,2	646,3
<b>Tous</b>		<b>620</b>	<b>361</b>	<b>2,30</b>	<b>2,56</b>	<b>9,4</b>	<b>12,1</b>	<b>382,1</b>	<b>539,1</b>

\* Le volume marchand est estimé pour une densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare.

### 3.6 Popularité de l'épinette de Norvège

La popularité de cette espèce dans le programme de reboisement a diminué considérablement au cours des dernières années. Les principales raisons invoquées pour cette baisse d'utilisation sont les suivantes : des problèmes de déformations de tiges causées par le charançon du pin blanc (*Pissodes strobi* Peck), des doutes au sujet de la qualité du bois et de son utilisation potentielle par l'industrie, une possibilité d'envahissement de nos forêts naturelles par cette espèce exotique, les contraintes liées à la certification forestière et la non-inclusion de cette espèce dans le groupe « Sapin-Pin-Épinette » pour la classification du bois d'œuvre canadien.

L'épinette de Norvège est une espèce sujette aux attaques du charançon du pin blanc. Les dommages causés par cet insecte peuvent entraîner la mortalité de la flèche terminale et une déformation subséquente de la tige. Néanmoins, MacArthur (1964) a démontré que, malgré les attaques de charançons observées dans toutes les plantations qu'il a étudiées, la croissance, la productivité et la qualité des tiges d'épinette de Norvège au Québec pouvaient être excellentes. L'importance des défauts s'amenuise avec le temps (Jokela *et al.* 1988). Par surcroît, le recours aux éclaircies sélectives permet

de diminuer l'importance relative des malformations causées par l'insecte (Prégent 1998b). Il existe des doutes sur la qualité du bois de cette essence. Or, Blouin *et al.* (1994) rapportent pour cette essence des densités de bois comparables à celles de l'épinette rouge provenant de forêts naturelles. Chui (1995) mentionne que le bois d'épinette de Norvège est de qualité inférieure à celle de l'épinette noire ou de l'épinette rouge provenant de forêts naturelles, mais supérieure à celle du bois issu de plantations d'épinette blanche, et même à celui du bois de sapin issu de forêts naturelles. Mottet *et al.* (2006) ont démontré que les propriétés du bois de sciage provenant de plantations d'épinette de Norvège sont supérieures à celles de l'épinette blanche. De plus, les propriétés du bois de sciage ne diffèrent pas si les tiges sont déformées par le charançon. Les normes de la certification forestière imposent des restrictions sur les superficies occupées par les plantations, en plus d'interdire l'utilisation d'espèces exotiques ayant la possibilité d'envahir les forêts naturelles. L'étude de Mottet *et al.* (2010) indique que l'épinette de Norvège ne peut être désignée comme étant envahissante. D'ailleurs, aucune mention d'envahissement de la forêt naturelle par cette espèce n'a été signalée en Amérique du Nord, même si elle y a été introduite depuis plus d'un siècle.

## Conclusion

À partir de données récoltées pendant plus d'une quarantaine d'années dans les domaines bioclimatiques de l'érablière et de la sapinière du Québec, nous avons créé ou mis à jour les outils suivants pour l'épinette de Norvège : 1) un tarif de cubage incluant une fonction de défilement, 2) une relation entre l'âge de la plantation et la hauteur dominante permettant d'estimer les  $IQS_{25}$ , 3) des tables de rendement et 4) des modèles de croissance pour les principaux paramètres dendrométriques. Les 3 premiers outils remplacent ceux mis au point par Bolghari et Bertrand (1984) et permettent d'obtenir de meilleures estimations en raison d'un échantillonnage plus important et diversifié, particulièrement pour les âges avancés, et d'une approche statistique plus performante. Les modèles de croissance constituent un nouvel outil pour les aménagistes et fournissent des estimations plus précises que les tables de rendement pour des périodes de projection n'excédant pas 20 ans. Les tables de rendement de même que les modèles de croissance permettent d'estimer la surface terrière, le DHP, le nombre de tiges et le volume pour l'ensemble des tiges, pour la portion marchande (tiges ayant un diamètre au fin bout supérieur à 9 cm) de même que pour les tiges ayant un diamètre minimal au fin bout supérieur à 12 et à 15 cm. Le domaine bioclimatique ne s'est pas avéré une variable significative pour améliorer les différents modèles. Ainsi, compte tenu des données disponibles, la production de tables de rendement régionales n'apparaît pas nécessaire.

Le tarif de cubage à 2 entrées mis au point dans la présente étude fournit des estimations de volume similaires à celles des meilleurs tarifs français ainsi que du tarif de Bolghari et Bertrand (1984). Néanmoins, l'estimation du volume des tiges était à l'origine d'une sous-estimation majeure du rendement des vieilles plantations des tables de Bolghari et Bertrand (1984), particulièrement pour les essences qui atteignent des hauteurs élevées comme l'épinette de Norvège. La hauteur n'étant mesurée que sur un faible nombre de tiges, ce paramètre doit être estimé à partir du DHP. Bolghari et Bertrand (1984) ont utilisé une relation avec une seule variable indépendante, le DHP, pour estimer les hauteurs. Toutefois, la relation entre la hauteur et le DHP n'est pas unique puisqu'elle varie selon plusieurs paramètres. Cela a eu pour conséquence de sous-estimer la hauteur et par conséquent, le volume de plantations denses, vieilles et surtout,

hautes; l'inverse est également vrai. Pour remédier à ce problème, notre approche a été d'utiliser une relation paramétrée, c'est-à-dire d'inclure non seulement le DHP, mais également la hauteur dominante et le DHP des dominants pour estimer la hauteur des tiges.

L'épinette de Norvège est une espèce très productive. Sur des stations moyennement fertiles ( $IQS_{25}$  de 12 m) et avec une densité de reboisement de 2 000 plants à l'hectare, la production en volume marchand estimée à 70 ans est de  $629 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , ce qui correspond à un accroissement annuel moyen de  $9,0 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ . La productivité dépend largement de la qualité de la station, mais peu de la densité de reboisement. Cependant, la densité de reboisement influence fortement le DHP et le volume par tige, des paramètres importants de la rentabilité financière des plantations. Sur les stations parmi les plus fertiles, soit celles ayant un  $IQS_{25}$  de 16 m, des rendements de près de  $1\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  à 70 ans seraient possibles, ce qui correspond à un accroissement annuel moyen de plus de  $14 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ . Il est important de souligner que ces niveaux de productivité ont été estimés à partir des vieilles plantations pour lesquelles le niveau d'amélioration génétique était très faible. Celui des plantations établies à partir des années 1980, et surtout, par rapport à celles récemment installées, est beaucoup plus élevé.

La productivité de l'épinette de Norvège est largement supérieure à celle de l'épinette blanche, et les écarts sur les stations fertiles sont particulièrement remarquables à partir d'une trentaine d'années. Contrairement à l'épinette blanche, la productivité dans les domaines de la sapinière est aussi bonne sinon meilleure que dans les domaines plus méridionaux de l'érablière. D'ailleurs, les écarts de productivité entre ces deux espèces sont plus importants dans les domaines de la sapinière. Néanmoins, il faudrait éviter d'extrapoler ces observations aux domaines de la pessière, où les sols sont généralement plus pauvres et de surcroît, où nous n'avons échantillonné aucune plantation. Notons toutefois la forte variabilité des résultats à l'intérieur de chacun des domaines bioclimatiques.

Les parcelles ajoutées au réseau à partir de 1995, soit celles dites des effets réels, ont permis d'identifier chacun des arbres individuellement et pourront conduire éventuellement à la mise au point de modèles à l'échelle de l'arbre plutôt qu'à celle du peuplement.

L'épinette de Norvège a été l'une des premières espèces utilisées dans le reboisement au Québec. Sa popularité a diminué considérablement au cours des dernières années, pour des raisons parfois sans fondement. Il s'agit pourtant d'une espèce à considérer dans les aires d'intensification de

la production ligneuse, puisque sa productivité dépasse largement celle de tous nos conifères indigènes, à l'exception du pin rouge (*Pinus resinosa* Ait.). De surcroît, de nombreux exemples de succès en plantations existent au Québec depuis bon nombre d'années.

## Références bibliographiques

- Barrio Anta, M., F. Castedo Dorado, U. Diéguez-Aranda, J.G. Alvarez Conzalez, B.R. Parresol et R. Rodriguez Soalleiro, 2006. *Development of a basal area growth system for maritime pine in northwestern Spain using the generalized algebraic difference approach*. Can. J. For. Res. 36: 1461-1474.
- Belsley, D.A., E. Kuh et R.E. Welsch, 2004. *Regression diagnostics. Identifying influential data and sources of collinearity*. Wiley Series in Probability and Statistics. John Wiley & Sons Inc. Hoboken. NJ (États-Unis). 292 p.
- Berrill, J.-P. et A.E. Hay, 2005. *Indicative growth and yield models for even-aged Eucalyptus fastigata plantations in New Zealand*. N. Z. J. For. Sci. 35(2/3): 121-138.
- Bi, H., 2000. *Trigonometric variable-form taper equations for Australian eucalyptus*. For. Sci. 46: 397-409.
- Blouin, D., J. Beaulieu, G. Daoust et J. Poliquin, 1994. *Wood quality of Norway spruce grown in plantations in Québec*. Wood Fiber Sci. 26: 342-353.
- Bolghari, H.A., 1977. *Hauteur dominante et indices de qualité des stations dans les plantations d'épinettes blanche et de Norvège*. Nat. Can. (Que.) 104: 475-484.
- Bolghari, H.A. et V. Bertrand, 1984. *Tables préliminaires de production des principales essences résineuses plantées dans la partie centrale du sud du Québec*. Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Service de la recherche (Terres et Forêts). Mémoire de recherche forestière n° 79. 392 p. [[www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Divers/Memoire79.pdf](http://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Divers/Memoire79.pdf)].
- Bonate, P.L., 1999. *The effect of collinearity on parameter estimates in nonlinear mixed effect models*. Pharm. Res. 16(5): 709-717.
- Bruce, D., R.O. Curtiss et C. Vancoevering, 1968. *Development of a system of taper and volume tables for red alder*. For. Sci. 14: 339-350.
- Camirand, R., C. Camiré et B. Bernier, 1983. *Comportement de Picea abies Karst. en plantation au Québec, Canada. I. Relations sol-station-croissance*. Plant and Soil 73: 3-16.
- Castedo Dorado, F., U. Diéguez-Aranda, M. Barrio Anta, M. Sánchez Rodriguez et K. von Gadow, 2006. *A generalized height-diameter model including random components for radiata pine plantations in northwestern Spain*. For. Ecol. Manage. 229: 202-213.
- Castonguay, S., 2006. *Foresterie scientifique et reforestation : l'État et la production d'une « forêt à pâte » au Québec dans la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle*. RHAf 60(1-2): 61-93.
- Cauboue, M. et D. Malenfant, 1988. *Le reboisement au Québec : exigences écologiques des épinettes (PICEA), des pins (PINUS) et des mélèzes (LARIX) plantés au Québec*. Publications du Québec. Québec, QC. 90 p.
- Chui, Y.H., 1995. *Grade yields and wood properties of Norway spruce (Picea abies (L.) Karst.) from Maritimes*. For. Chron. 71(4): 473-478.
- Cornellier, P., 1995. *Position du ministère des Ressources naturelles du Québec concernant le problème du charançon du pin blanc*. Dans : Lavallée, R. et G. Bonneau (org. et édés). *Compte rendu du Colloque sur le charançon du pin blanc*. Sainte-Foy, QC. 27-28 septembre 1994. p. 111-117.
- Cunningham, G.C., 1953. *Croissance et développement des plantations de conifères de Grand-Mère (P.Q.)*. Ministère du Nord canadien et des Ressources nationales. Mémoire de recherches sylvicoles n° 103. 29 p.
- Decourt, N., 1971. *Tables de production pour l'épicéa commun dans le nord-est de la France*. Rev. For. Fr. XXIII(4) : 411-418.
- Decourt, N., 1973. *Tables de production pour l'épicéa commun et le Douglas dans l'Ouest du Massif central*. Rev. For. Fr. XXV(2) : 99-104.
- de-Miguel, S., L. Mehtätalo, Z. Shater, B. Kraid et T. Pukkala, 2012. *Evaluating marginal and conditional predictions of taper models in the absence of calibration data*. Can. J. For. Res. 42: 1383-1394.

- Désaulniers, G., 1989. *Équation du défilement d'un tronçon : fondement du cubage des arbres en vue du débitage*. Deuxième édition, revue et corrigée. Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Direction de la recherche et du développement. Mémoire n° 69. 91 p. [[www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Divers/Memoire69.pdf](http://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Divers/Memoire69.pdf)].
- Diéguez-Aranda, U., H.E. Burkhart et R.L. Amateis, 2006. *Dynamic site model for Loblolly pine (Pinus taeda L.) plantations in the United States*. For. Sci. 52: 262-272.
- Fortin, M., R. Schneider et J.-P. Saucier, 2013. *Volume and error variance estimation using integrated stem taper models*. For. Sci. 59 : 345-358 [<http://dx.doi.org/10.5849/forsci.11-146>].
- Glen, W.M., 1994. *Norway spruce in Prince Edward Island*. P.E.I. Department of Energy and Forestry, Forestry Division. Management Notes n° 5. 21 p. [[www.gov.pe.ca/photos/original/af\\_norway\\_spruc.pdf](http://www.gov.pe.ca/photos/original/af_norway_spruc.pdf)].
- Gordon, A.M., P.A. Williams et E.P. Taylor, 1989. *Site index curves for Norway spruce in southern Ontario*. North. J. Appl. For. 6: 23-26.
- 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.
- Gregoire, T.G., O. Schabenberger et F. Kong, 2000. *Prediction from an integrated regression equation: A forestry application*. Biometrics 56(2): 414-419.
- Guinaudeau, F. et P. Duplat, 1994. *Proposition d'un tarif de cubage unique pour l'épicéa commun*. Afocel Arnef. Informations-Forêt n° 3 fascicule 487: 225-236.
- Holmsgaard, E., 1958. *Comments on some German and Swedish thinning experiments in Norway spruce*. For. Sci. 4: 54-60.
- Holst, M., 1963. *Growth of Norway spruce (Picea abies (L.) Karst.) provenances in eastern North America*. Gouvernement du Canada, Service canadien des forêts. Petawawa Forest Experiment Station. Chalk River, ON. Department of Forestry Publication 1022. 16 p.
- Hosley, N.W., 1936. *Norway spruce in the northeastern United States, a study of existing plantations*. Harv. For. Bull. n° 19. 81 p. [<http://harvardforest.fas.harvard.edu/sites/harvardforest.fas.harvard.edu/files/publications/pdfs/HFpubs/b19.pdf>].
- Hughes, E.L., 1970. *Rapid growth of Norway and red spruce near the Bay of Fundy*. Pulp Pap. Mag. Can. 71: 48-60.
- Hughes, E.L. et O.L. Loucks, 1962. *Rapid growth of Norway and some native spruces in New Brunswick*. Woodlands Review, Pulp Pap. Mag. Can. 63: 100.
- Jaakkola, T., H. Mäkinen et P. Saranpää, 2005. *Wood density in Norway spruce: changes with thinning intensity and tree age*. Can. J. For. Res. 35: 1767-1778.
- Johansson, T., 1996. *Site index curves for Norway spruce (Picea abies (L.) karst.) planted on abandoned farm land*. New For. 11: 9-29.
- Jokela, E.J., R.D. Briggs et E.H. White, 1986. *Volume equations and stand volumes for unthinned Norway spruce plantations in New York*. North. J. Appl. For. 3: 7-10.
- Jokela, E.J., S.B. Jack et C.A. Nowak, 1988. *Site index curves for unthinned Norway spruce plantations in New York*. North. J. Appl. For. 5: 251-254.
- Knowe, S.A., 1994. *Effect of competition control treatments on height-age and height-diameter relationships in young Douglas-fir plantations*. For. Ecol. Manage. 67: 101-111.
- Kozak, A., 1997. *Effects of multicollinearity and autocorrelation on the variable-exponent taper functions*. Can. J. For. Res. 27: 619-629.
- Kozak, A., 2004. *My last words on taper equations*. For. Chron. 80: 507-514.
- Kroon, J., B. Anderson et T.J. Mullin, 2008. *Genetic variation in the diameter-height relationship in Scots pine (Pinus sylvestris)*. Can. J. For. Res. 38: 1493-1503.
- Lanier, L., 1986. *Précis de sylviculture*. École nationale du génie rural, des eaux et des forêts. Nancy (France). 468 p.
- Lappi, J., 1997. *A longitudinal analysis of height/diameter curves*. For. Sci. 43: 555-570.
- Lee, W.K., J.H. Seo, Y.M. Son, K.H. Lee et K. von Gadow, 2003. *Modeling stem profiles for Pinus densiflora in Korea*. For. Ecol. Manage. 172: 69-77.
- Lejeune, G., C.-H. Ung, M. Fortin, X.J. Guo, M.-C. Lambert et J.-C. Ruel, 2009. *A simple stem taper model with mixed effects for boreal black spruce*. Eur. J. For. Res. 128: 505-513.

- Li, R. et A.R. Weiskittel, 2010. *Comparison of model forms for estimating stem taper and volume in the primary conifer species of the North American Acadian region*. Ann. For. Sci. 67: 302.
- MacArthur, J.D., 1959. *Effets de l'engrais sur une plantation d'épinettes blanches et d'épinettes de Norvège, située à Grand'Mère (P.Q.)*. Ministère du Nord canadien et des Ressources nationales, Direction des forêts, Division des recherches sylvicoles. Mémoire technique n° 64. 16 p.
- MacArthur, J.D., 1964. *Norway spruce plantations in Québec*. Government of Canada, Department of Forestry, Quebec Region. Department of Forest Publication n° 1059, 44 p. [<https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=15551>].
- McCulloch, C.E, S.R. Searle et J.M. Neuhaus, 2008. 2<sup>nd</sup> edition. *Generalized, linear, and mixed models*. Wiley Series in Probability and Statistics. John Wiley & Sons. Hoboken, NJ (États-Unis). 424 p.
- Meng, SX., S. Huang, V.J. Lieffers, T. Nunifu et Y. Yang, 2008. *Wind speed and crown class influence the height-diameter relationship of lodgepole pine: Nonlinear mixed effects modeling*. For. Ecol. Manage. 256: 570-577.
- Mottet, M.-J., G. Daoust et S.Y. Zhang, 2006. *Impact du charançon du pin blanc (Pissodes stobi peck) dans les plantations d'épinette de Norvège (Picea abies (L.) Karst.)*. Partie 2 : *Propriétés du bois des sciages*. For. Chron. 82: 712-722.
- Mottet, M.-J., G. Prégent, M. Perron, J. DeBlois et M.-C. Lambert, 2010. *Régénération naturelle de l'épinette de Norvège au Québec : aucun signe d'envahissement*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Note de recherche forestière n° 135. 11 p. [[www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Mottet-Marie-Josee/Note135.pdf](http://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Mottet-Marie-Josee/Note135.pdf)].
- Nicholson, J., 2006. *Growth potential of "Old Field" Plantations in Nova Scotia*. Nova Scotia Forest Research Report. 44 p.
- Nolin, Y. et A. Corriveau, 1981. *Variabilité génétique des provenances d'épinette de Norvège au Québec : essais de la série E.57*. Centre de Recherches Forestières des Laurentides, Mémoire n° 9. 73 p.
- Ochi, N. et Q.V. Cao, 2003. *A comparison of compatible and annual growth models*. For. Sci. 49: 285-290.
- Pain, O., 1996. *Sylviculture de l'épicéa commun*. Office national des Forêts (France). Bulletin technique n° 31. p. 43-51.
- Pienaar, L.V., et K.J. Turnbull, 1973. *The Chapman-Richards generalization of Von Bertalanffy's growth model for basal area growth and yield in even-aged stands*. For. Sci. 19: 2-22.
- Pinheiro, J., D. Bates, S. DebRoy, D. Sarkar et the R Development Core Team, 2012. *Nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models*. R package version 3. p. 1-105.
- Prégent, G., V. Bertrand et L. Charrette, 1996. *Tables préliminaires de rendement pour les plantations d'épinette noire au Québec*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 118. 70 p. [[www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Pregent-Guy/Memoire118.pdf](http://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Pregent-Guy/Memoire118.pdf)].
- Prégent, G., 1998a. *La plantation du test de provenances de Causapscaal : résultats après 41 ans et planification des travaux d'éclaircie*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Rapport interne n° 439. 12 p.
- Prégent, G., 1998b. *L'éclaircie des plantations*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 133. 38 p. [[www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Pregent-Guy/Memoire133.pdf](http://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Pregent-Guy/Memoire133.pdf)].
- 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.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Pregent-Guy/Memoire139.pdf](http://www.mffp.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 et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 160. 73 p. [[www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Pregent-Guy/Memoire160.pdf](http://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Pregent-Guy/Memoire160.pdf)].
- Riou-Nivert, P., 1998. *Les hauts et les bas de l'épicéa*. Forêt-entreprise n° 124: 18 20.

- Rojo, A., X. Perales, F. Sánchez-Rodríguez, J.G. Álvarez-González et K. von Gadow, 2005. *Stem taper functions for maritime pine (Pinus pinaster Ait.) in Galicia (northwestern Spain)*. Eur. J. For. Res. 25: 177-186.
- Rondeux, J., 1993. *La mesure des arbres et des peuplements forestiers*. Les Presses agronomiques de Gembloux. Gembloux (Belgique). 521 p.
- 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 124(février-mars): 12 p.
- SAS Institute Inc., 2011a. *SAS/STAT® 9.3 User's Guide*. SAS Institute Inc. Cary, NC (États-Unis).
- SAS Institute Inc., 2011b. *SAS/ETS 9.3 User's Guide*. SAS Institute Inc. Cary, NC (États-Unis).
- Schneider, R., M. Fortin et J.-P. Saucier, 2013. *Équations de défilement en forêt naturelle pour les principales essences commerciales du Québec*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 167. 40 p. [[www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Divers/Memoire167.pdf](http://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Divers/Memoire167.pdf)].
- Schumacher, F.X., 1939. *A new growth curve and its application to timber-yield studies*. J. For. 37: 819-820.
- Seynave, I., J.-C. Gégout, J.-C. Hervé, J.-F. Dhôte, J. Drapier, E. Bruno et G. Dumé, 2004. *Étude des potentialités forestières pour l'épicéa commun dans l'Est de la France à partir des données de l'IFN*. Rev. For. Fr. LVI (6): 537-550.
- Sharma, M. et R.G. Oderwald, 2001. *Dimensionally compatible volume and taper equations*. Can. J. For. Res. 31: 797-803.
- Sharma, M. et J. Parton, 2009. *Modeling stand density effects on taper for jack pine and black spruce plantations using dimensional analysis*. For. Sci. 55: 268-282.
- Spurr, S.H., 1956. *Plantation success in the Harvard Forest as related to planting site and cleaning, 1907-47*. J. For. 54(9): 577-579.
- Staudhammer, C. et V. LeMay, 2000. *Height prediction equations using diameter and stand density measures*. For. Chron. 76: 303-309.
- Stiell, W.M., 1958. *Pulpwood plantations in Ontario and Quebec*. Canadian Pulp and Paper Association. Woodlands Section Index 1770 (F-2).
- Ung, C.-H., 1990. *Tarifs de cubage paramétrés : application à l'épinette noire de Lebel-sur-Quévillon*. Can. J. For. Res. 20: 1471-1478.
- Valentine, H.T. et T.G. Gregoire, 2001. *A switching model of bole taper*. Can. J. For. Res. 31: 1400-1409.
- Vospersnik, S., R.A. Monserud et H. Sterba, 2010. *Do individual-tree growth models correctly represent height:diameter ratios of Norway spruce and scots pine?* For. Ecol. Manage. 260: 1735-1753.
- Wright, J.W., 1956. *Cultivated spruces in the Philadelphia area*. Morris Arbor. Bull. 7(4).
- Zakrzewski, W.T., 1999. *A mathematically tractable stem profile model for jack pine in Ontario*. North. J. Appl. For. 16: 138-143.

## Annexes

Annexe 1. Présentation de la méthode récursive utilisée pour la construction des modèles de croissance.

$$\text{Année } (t + 1) : \quad \hat{Y}_{t+1} = f(Y_t, A_t, A_{t+1}) + \varepsilon$$

$$\text{Année } (t + 2) : \quad \hat{Y}_{t+2} = f(\hat{Y}_{t+1}, A_{t+1}, A_{t+2}) + \varepsilon$$

[...]

$$\text{Année } (t + q) : \quad Y_{t+q} = f(\hat{Y}_{t+q-1}, A_{t+q-1}, A_{t+q}) + \varepsilon$$

où

$Y_t, Y_{t+q}$  = Variables observées aux temps  $t$  et  $t + q$ , respectivement

$\hat{Y}_{t+1}, \hat{Y}_{t+2}, \hat{Y}_{t+q-1}$  = Variables estimées aux temps  $t + 1, t + 2$  et  $t + q - 1$ , respectivement

$A_t, A_{t+q}$  = Âge de la plantation aux temps  $t$  et  $t + q$ , respectivement

$A_{t+1}, A_{t+2}, A_{t+q-1}$  = Âge estimé aux temps  $t + 1, t + 2$  et  $t + q - 1$ , respectivement

$q$  = Nombre d'années dans la période

$f( )$  = Fonction

$\varepsilon$  = Erreur résiduelle.

Annexe 2. Abaque d'estimation du volume total sans écorce (dm<sup>3</sup>) d'une tige d'épinette de Norvège en plantation en fonction du DHP et de la hauteur totale.

DHP (cm)	Hauteur (m)															
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
2	0,3															
4	1,1															
6	2,4	4,9	7,5													
8	4,2	8,7	13,2	17,9												
10		13,4	20,5	27,7	35,0	42,3	49,7									
12		19,3	29,4	39,7	50,1	60,6	71,2									
14				53,8	67,9	82,1	96,5	110,9	125,4							
16				70,0	88,4	106,9	125,5	144,3	163,1							
18				88,3	111,5	134,8	158,3	182,0	205,8							
20				108,7	137,2	165,9	194,9	224,0	253,3	282,7						
22				131,2	165,6	200,3	235,2	270,3	305,7	341,2						
24							279,2	320,9	362,9	405,1	447,4	489,9	532,6			
26							326,9	375,8	424,9	474,3	523,9	573,7	623,6			
28							378,4	434,9	491,8	548,9	606,3	663,9	721,7	779,7	837,9	
30							433,5	498,3	563,5	628,9	694,7	760,7	826,9	893,4	960,0	
32											788,9	863,9	939,1	1014,6	1090,3	
34											889,1	973,6	1058,4	1143,4	1228,8	
36													1184,6	1279,8	1375,3	
38													1317,9	1423,8	1530,1	1636,6
40															1692,9	1810,8
42															1863,8	1993,7
44															2042,9	2185,2
46															2230,0	2385,3
48															2425,2	2594,1
50															2628,5	2811,6

Volume total sans écorce estimé =  $V_{SE} = 0,0338 (dhp^{1,9717}) (H^{1,0432})$

Annexe 3. Abaque d'estimation du volume total avec écorce (dm<sup>3</sup>) d'une tige d'épinette de Norvège en plantation en fonction du DHP et de la hauteur totale.

DHP (cm)	Hauteur (m)															
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
2	0,4															
4	1,6															
6	3,4	6,6	9,7													
8	6,0	11,6	17,0	22,3												
10		17,9	26,2	34,4	42,5	50,5	58,4									
12		25,5	37,4	49,1	60,6	72,0	83,3									
14				66,3	81,8	97,2	112,4	127,5	142,5							
16				86,0	106,1	126,1	145,8	165,4	184,8							
18				108,1	133,5	158,6	183,4	208,0	232,5							
20				132,8	163,9	194,7	225,1	255,4	285,4	315,2						
22				159,8	197,3	234,3	271,0	307,4	343,6	379,5						
24							321,1	364,2	407,0	449,5	491,8	533,9	575,8			
26							375,2	425,6	475,6	525,3	574,8	624,0	672,9			
28							433,4	491,6	549,4	606,9	664,0	720,8	777,4	833,7	889,8	
30							495,7	562,3	628,4	694,1	759,4	824,4	889,1	953,5	1017,7	
32											861,1	934,8	1008,1	1081,2	1153,9	
34											969,0	1051,9	1134,4	1216,6	1298,5	
36													1268,0	1359,8	1451,3	
38													1408,7	1510,8	1612,4	1713,6
40															1781,7	1893,6
42															1959,2	2082,3
44															2145,0	2279,7
46															2338,9	2485,7
48															2540,9	2700,5
50															2751,1	2923,8

Volume total avec écorce estimé =  $V_{AE} = 0,0547 (dhp)^{1,9468} (Ht)^{0,9437}$

Annexe 4. Abaque d'estimation du volume marchand (dm<sup>3</sup>) d'une tige d'épinette de Norvège en plantation en fonction du DHP et de la hauteur totale.

DHP (cm)	Hauteur (m)													
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
10	9,6	9,1	8,8	8,7	8,5	8,4	8,4	8,3	8,3	8,3				
11	15,1	15,8	16,7	17,9	19,4	21,2	23,2	25,6	28,2	31,2				
12	20,8	22,3	24,3	26,7	29,5	32,6	36,1	40,0	44,2	48,7				
13	26,6	29,0	31,9	35,2	39,0	43,2	47,9	52,9	58,2	63,9				
14				43,9	48,6	53,8	59,5	65,5	72,0	78,8	86,0	93,5	101,3	109,4
15				52,8	58,5	64,6	71,3	78,4	85,9	93,9	102,2	110,9	119,9	129,3
16				62,2	68,8	75,9	83,6	91,7	100,3	109,4	118,9	128,8	139,1	149,7
17				72,1	79,6	87,7	96,4	105,6	115,3	125,5	136,2	147,3	158,9	170,8
18				82,5	91,0	100,1	109,8	120,1	130,9	142,3	154,2	166,6	179,5	192,8
19				93,5	103,0	113,1	123,9	135,3	147,3	159,9	173,0	186,7	200,9	215,6
20				105,1	115,6	126,8	138,7	151,2	164,4	178,2	192,6	207,6	223,2	239,3
21				117,3	128,9	141,2	154,2	167,9	182,3	197,4	213,1	229,5	246,4	264,0
22				130,1	142,8	156,3	170,5	185,4	201,1	217,4	234,5	252,2	270,6	289,6
23				143,6	157,5	172,1	187,5	203,7	220,6	238,3	256,8	275,9	295,8	316,3
24										260,2	280,0	300,6	321,9	344,0
25										282,9	304,2	326,2	349,1	372,8
26										306,5	329,3	352,9	377,3	402,6
27										331,2	355,4	380,6	406,6	433,5
28										356,7	382,6	409,3	437,0	465,6
29										383,3	410,7	439,1	468,4	498,7
30										410,9	439,9	469,9	501,0	533,0
31										439,4	470,1	501,9	534,7	568,5
32														
33														
34														
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41														
42														
43														
44														
45														
46														
47														
48														
49														
50														

## Annexe 4. (suite et fin)

Hauteur (m)													DHP (cm)	
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		32
														10
														11
														12
														13
														14
														15
														16
														17
														18
														19
255,9	273,1													20
282,1	300,8													21
309,3	329,5													22
337,5	359,4													23
366,8	390,3	414,4	439,2	464,7	490,7	517,3	544,5							24
397,2	422,3	448,2	474,8	502,0	529,9	558,4	587,6							25
428,7	455,5	483,1	511,5	540,6	570,4	600,9	632,0							26
461,3	489,9	519,3	549,5	580,4	612,2	644,6	677,8							27
495,0	525,4	556,6	588,7	621,6	655,2	689,7	724,9	760,9	797,6	835,0	873,0			28
530,0	562,1	595,2	629,2	664,0	699,7	736,2	773,5	811,6	850,5	890,1	930,4			29
566,1	600,1	635,0	670,9	707,7	745,4	784,0	823,4	863,7	904,8	946,7	989,4			30
603,3	639,2	676,1	713,9	752,7	792,5	833,2	874,8	917,3	960,6	1004,8	1049,8			31
			758,3	799,1	841,0	883,8	927,6	972,3	1018,0	1064,5	1111,9			32
			803,9	846,9	890,9	935,9	981,9	1028,9	1076,8	1125,7	1175,5			33
			850,9	896,0	942,1	989,3	1037,6	1086,9	1137,2	1188,5	1240,8			34
			899,3	946,5	994,8	1044,3	1094,8	1146,4	1199,1	1252,9	1307,6			35
							1153,5	1207,5	1262,6	1318,8	1376,1			36
							1213,7	1270,1	1327,7	1386,4	1446,2			37
							1275,5	1334,3	1394,4	1455,6	1518,0	1581,5	1646,2	38
							1338,8	1400,1	1462,6	1526,4	1591,4	1657,6	1725,0	39
											1667	1735	1806	40
											1743	1815	1888	41
											1822	1896	1972	42
											1902	1979	2058	43
											1984	2064	2145	44
											2068	2151	2235	45
											2153	2239	2326	46
											2241	2329	2419	47
											2330	2421	2514	48
											2421	2515	2611	49
											2514	2611	2710	50

Annexe 5. Abaque d'estimation du volume sans écorce (dm<sup>3</sup>) d'une tige d'épinette de Norvège en plantation en fonction du DHP et de la hauteur totale, pour un diamètre de 12 cm au fin bout.

DHP (cm)	Hauteur (m)													
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
13	15,3	15,0	14,8	14,6	14,5	14,4	14,3	14,3	14,2	14,2	14,2			
14	26,3	27,6	29,1	31,0	33,0	35,4	38,1	41,1	44,5	48,4	52,8			
15	37,9	40,9	44,3	48,2	52,5	57,3	62,7	68,5	74,9	81,7	89,1			
16	49,2	53,6	58,6	64,1	70,1	76,7	83,8	91,4	99,6	108,2	117,3			
17	60,6	66,3	72,6	79,4	86,9	94,9	103,5	112,6	122,3	132,5	143,1			
18	72,1	79,0	86,6	94,7	103,5	112,9	122,8	133,4	144,5	156,1	168,3			
19	84,0	92,1	100,8	110,2	120,3	130,9	142,3	154,2	166,7	179,8	193,4	207,6	222,2	
20	96,4	105,6	115,5	126,1	137,4	149,4	162,1	175,4	189,3	203,9	219,0	234,7	250,9	
21	109,2	119,6	130,7	142,5	155,1	168,4	182,4	197,1	212,5	228,5	245,2	262,4	280,2	
22	122,5	134,1	146,5	159,6	173,5	188,1	203,5	219,6	236,4	253,9	272,0	290,8	310,3	
23							225,2	242,7	261,0	280,0	299,7	320,1	341,2	363,0
24							247,7	266,7	286,5	307,0	328,3	350,4	373,1	396,6
25							271,1	291,5	312,8	334,9	357,8	381,5	406,0	431,2
26							295,3	317,2	340,1	363,8	388,3	413,7	439,9	466,9
27							320,4	343,9	368,3	393,6	419,9	447,0	474,9	503,7
28							346,4	371,5	397,5	424,5	452,4	481,3	511,0	541,6
29							373,3	400,0	427,7	456,4	486,1	516,7	548,2	580,7
30							401,2	429,6	459,0	489,4	520,8	553,2	586,6	621,0
31														
32														
33														
34														
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41														
42														
43														
44														
45														
46														
47														
48														
49														
50														

## Annexe 5. (suite et fin)

Hauteur (m)											DHP (cm)
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
											13
											14
											15
											16
											17
											18
											19
											20
											21
											22
385,3	408,3	431,8	455,9	480,5							23
420,7	445,4	470,8	496,8	523,4							24
457,1	483,7	511,0	538,9	567,5							25
494,6	523,1	552,3	582,2	612,8							26
533,3	563,6	594,8	626,7	659,3	692,7	726,7	761,4	796,7			27
573,1	605,4	638,5	672,5	707,2	742,6	778,8	815,7	853,3			28
614,1	648,4	683,5	719,5	756,3	793,9	832,3	871,5	911,4			29
656,4	692,6	729,8	767,9	806,8	846,6	887,3	928,7	970,9			30
699,9	738,2	777,4	817,6	858,7	900,8	943,7	987,4	1032,0			31
744,6	785,0	826,3	868,7	912,0	956,3	1001,5	1047,6	1094,6			32
790,7	833,1	876,6	921,2	966,7	1013,3	1060,8	1109,3	1158,7			33
838,1	882,6	928,3	975,0	1022,8	1071,7	1121,6	1172,5	1224,4			34
				1080,4	1131,6	1183,9	1237,3	1291,6			35
				1139,5	1193,1	1247,8	1303,6	1360,5			36
				1200,0	1256,0	1313,2	1371,5	1431,0	1491,5	1553,1	37
				1262,1	1320,5	1380,2	1441,0	1503,1	1566,2	1630,6	38
								1576,8	1642,6	1709,7	39
								1652,2	1720,8	1790,5	40
								1729,3	1800,6	1873,1	41
								1808,1	1882,1	1957,5	42
								1888,6	1965,4	2043,6	43
								1970,8	2050,5	2131,5	44
								2054,8	2137,3	2221,2	45
								2140,6	2225,9	2312,8	46
								2228,1	2316,3	2406,2	47
								2317,4	2408,6	2501,4	48
								2408,5	2502,7	2598,5	49
								2501,4	2598,6	2697,5	50

Annexe 6. Abaque d'estimation du volume sans écorce (dm<sup>3</sup>) d'une tige d'épinette de Norvège en plantation en fonction du DHP et de la hauteur totale, pour un diamètre de 15 cm au fin bout.

DHP (cm)	Hauteur (m)													
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
16	24,1	23,7	23,4	23,1	22,9	22,8	22,6	22,5	22,5	22,4	22,3			
17	37,0	38,2	39,5	41,1	42,8	44,8	46,9	49,2	51,8	54,6	57,7			
18	51,2	54,3	57,7	61,6	65,9	70,7	76,1	82,0	88,5	95,7	103,5			
19	65,4	70,2	75,6	81,5	88,1	95,2	103,1	111,6	120,8	130,7	141,3			
20	79,6	86,0	93,1	100,8	109,2	118,3	128,2	138,7	150,0	162,0	174,7	188,1	202,1	
21	93,9	101,9	110,5	119,8	129,9	140,8	152,4	164,7	177,8	191,6	206,2	221,5	237,4	
22	108,5	117,9	128,0	138,9	150,6	163,0	176,3	190,3	205,1	220,7	237,0	254,1	271,8	
23	123,5	134,3	145,9	158,2	171,4	185,4	200,3	216,0	232,4	249,7	267,7	286,5	306,1	
24							224,7	241,9	260,0	279,0	298,7	319,3	340,6	362,7
25							249,5	268,4	288,2	308,8	330,3	352,5	375,7	399,5
26							275,0	295,5	316,9	339,2	362,4	386,5	411,4	437,1
27							301,2	323,4	346,4	370,4	395,4	421,2	447,9	475,6
28							328,2	352,0	376,7	402,5	429,2	456,8	485,4	514,9
29							356,0	381,5	407,9	435,4	463,9	493,4	523,8	555,2
30							384,7	411,8	440,0	469,3	499,6	530,9	563,3	596,6
31							414,3	443,1	473,1	504,2	536,3	569,5	603,8	639,1
32														
33														
34														
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41														
42														
43														
44														
45														
46														
47														
48														
49														
50														

## Annexe 6. (suite et fin)

Hauteur (m)											DHP (cm)
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
											16
											17
											18
											19
											20
											21
											22
											23
385,4	408,9	433,1	457,9	483,3							24
424,2	449,6	475,7	502,5	530,0							25
463,7	491,0	519,1	547,9	577,4							26
504,0	533,3	563,4	594,2	625,9							27
545,3	576,5	608,7	641,6	675,3	709,8	745,1	781,1	817,9			28
587,6	620,8	655,0	690,0	725,9	762,6	800,1	838,4	877,5			29
631,0	666,2	702,5	739,6	777,7	816,6	856,4	897,0	938,4			30
675,5	712,8	751,1	790,5	830,7	871,9	914,0	956,9	1000,7			31
721,1	760,6	801,0	842,5	885,0	928,4	972,8	1018,2	1064,4			32
768,0	809,5	852,2	895,9	940,6	986,4	1033,1	1080,8	1129,5			33
816,1	859,8	904,6	950,6	997,6	1045,7	1094,8	1145,0	1196,1			34
865,5	911,4	958,4	1006,6	1055,9	1106,4	1157,9	1210,6	1264,2			35
				1115,7	1168,6	1222,5	1277,6	1333,8			36
				1176,9	1232,2	1288,6	1346,3	1405,0			37
				1239,6	1297,3	1356,3	1416,4	1477,8	1540,3	1604,0	38
				1303,7	1363,9	1425,4	1488,2	1552,2	1617,4	1683,8	39
								1628,2	1696,1	1765,3	40
								1705,8	1776,5	1848,4	41
								1785,1	1858,5	1933,3	42
								1866,1	1942,3	2019,9	43
								1948,8	2027,8	2108,3	44
								2033,2	2115,1	2198,5	45
								2119,3	2204,1	2290,4	46
								2207,2	2294,9	2384,2	47
								2296,9	2387,6	2479,8	48
								2388,4	2482	2577,3	49
								2481,7	2578,3	2676,7	50

Annexe 7. Abaque d'estimation du volume sans écorce (dm<sup>3</sup>) d'une tige d'épinette de Norvège en plantation en fonction du DHP et de la hauteur totale, pour un diamètre de 18 cm au fin bout.

DHP (cm)	Hauteur (m)													
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
19	35,2	34,6	34,2	33,8	33,5	33,3	33,1	32,9	32,8	32,7	32,6	32,6	32,5	
20	50,5	51,5	52,7	54,1	55,7	57,4	59,2	61,2	63,3	65,5	67,8	70,3	72,8	
21	67,2	70,3	73,7	77,5	81,7	86,3	91,3	96,8	102,8	109,4	116,7	124,6	133,3	
22	84,2	89,3	94,9	101,0	107,8	115,1	123,1	131,9	141,4	151,7	162,8	174,8	187,7	
23							153,5	164,9	177,1	190,2	204,2	219,1	234,9	251,6
24							182,8	196,5	211,0	226,5	242,9	260,2	278,4	297,4
25							211,6	227,3	243,9	261,5	280,1	299,5	319,9	341,2
26							240,2	257,8	276,5	296,1	316,6	338,2	360,6	384,0
27							268,9	288,5	309,0	330,6	353,1	376,7	401,1	426,6
28							298,1	319,4	341,9	365,3	389,8	415,3	441,8	469,3
29							327,7	350,9	375,2	400,6	427,0	454,5	483,0	512,5
30							357,9	383,0	409,1	436,4	464,8	494,2	524,7	556,3
31														
32														
33														
34														
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41														
42														
43														
44														
45														
46														
47														
48														
49														
50														

## Annexe 7. (suite et fin)

Hauteur (m)											DHP (cm)
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
											19
											20
											21
											22
269,2	287,6	306,9	326,9	347,7							23
317,4	338,2	359,8	382,2	405,3							24
363,3	386,3	410,2	434,8	460,2							25
408,3	433,4	459,4	486,3	513,9							26
453,0	480,2	508,4	537,4	567,2	597,8	629,2	661,4	694,2			27
497,8	527,1	557,4	588,6	620,7	653,6	687,3	721,7	757,0			28
543,0	574,5	607,0	640,3	674,6	709,8	745,8	782,6	820,2			29
588,9	622,5	657,1	692,7	729,2	766,7	805,0	844,2	884,3			30
635,5	671,3	708,1	745,9	784,7	824,4	865,1	906,7	949,2			31
683,1	721,0	760,0	800,0	841,1	883,2	926,3	970,3	1015,3			32
731,6	771,7	812,9	855,2	898,6	943,1	988,5	1035,0	1082,5			33
781,2	823,5	867,0	911,6	957,3	1004,1	1052,0	1100,9	1150,9			34
				1017,1	1066,4	1116,7	1168,1	1220,7			35
				1078,3	1129,9	1182,7	1236,7	1291,8			36
				1140,7	1194,8	1250,1	1306,7	1364,3	1423,2	1483,1	37
				1204,5	1261,1	1319,0	1378,0	1438,4	1499,9	1562,6	38
								1513,9	1578,1	1643,5	39
								1590,9	1657,9	1726,1	40
								1669,6	1739,2	1810,3	41
								1749,8	1822,3	1896,1	42
								1831,6	1906,9	1983,6	43
								1915,1	1993,2	2072,8	44
								2000,3	2081,3	2163,8	45
								2087,1	2171,0	2256,5	46
								2175,7	2262,5	2351,0	47
								2266,0	2355,8	2447,3	48
								2358,1	2450,9	2545,4	49
								2451,9	2547,7	2645,3	50

Annexe 8. Abaque d'estimation du volume sans écorce (dm<sup>3</sup>) d'une tige d'épinette de Norvège en plantation en fonction du DHP et de la hauteur totale, pour un diamètre de 21 cm au fin bout.

DHP (cm)	Hauteur (m)													
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
22	48,5	47,8	47,2	46,7	46,3	46,0	45,8	45,5	45,4	45,2	45,1	45,0	44,9	
23							75,0	76,8	78,7	80,7	82,7	84,8	86,9	89,0
24							109,7	114,8	120,3	126,2	132,6	139,4	146,8	154,8
25							145,4	154,0	163,3	173,4	184,3	196,0	208,6	222,3
26							180,6	192,4	205,0	218,5	233,0	248,6	265,1	282,8
27							214,9	229,4	244,9	261,4	278,9	297,5	317,2	338,0
28							248,7	265,6	283,7	302,8	322,9	344,2	366,6	390,1
29							282,1	301,4	321,8	343,3	365,9	389,6	414,5	440,5
30							315,5	337,0	359,7	383,4	408,3	434,4	461,7	490,0
31														
32														
33														
34														
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41														
42														
43														
44														
45														
46														
47														
48														
49														
50														

## Annexe 8. (suite et fin)

Hauteur (m)											DHP (cm)
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
											22
91,2	93,4	95,5	97,7	99,8							23
163,5	173,0	183,3	194,7	207,1							24
237,0	252,9	269,9	288,1	307,5							25
301,6	321,5	342,5	364,6	387,8							26
359,9	382,9	407,0	432,1	458,3	485,5	513,7	542,8	572,7			27
414,7	440,4	467,2	495,0	523,9	553,7	584,5	616,3	648,9			28
467,6	495,9	525,2	555,5	586,9	619,3	652,7	687,0	722,2			29
519,6	550,2	581,9	614,8	648,6	683,5	719,4	756,3	794,0			30
571,2	604,2	638,3	673,5	709,8	747,2	785,6	825,0	865,3			31
622,8	658,2	694,7	732,3	771,1	810,9	851,8	893,7	936,6			32
674,8	712,5	751,4	791,4	832,6	874,9	918,3	962,8	1008,3			33
727,4	767,4	808,7	851,1	894,7	939,5	985,4	1032,4	1080,5			34
				957,6	1004,9	1053,3	1102,9	1153,6			35
				1021,4	1071,2	1122,2	1174,3	1227,7			36
				1086,2	1138,5	1192,0	1246,8	1302,9	1360,1	1418,5	37
				1152,1	1206,9	1263,1	1320,5	1379,2	1439,1	1500,3	38
								1456,8	1519,5	1583,5	39
								1535,8	1601,3	1668,0	40
								1616,2	1684,4	1754,0	41
								1698,0	1769,1	1841,5	42
								1781,3	1855,3	1930,6	43
								1866,2	1943,0	2021,3	44
								1952,7	2032,3	2113,5	45
								2040,7	2123,3	2207,5	46
								2130,4	2215,9	2303,1	47
								2221,7	2310,3	2400,5	48
								2314,8	2406,3	2499,6	49
								2409,6	2504,2	2600,5	50

**Annexe 9.** Abaque d'estimation du volume sans écorce (dm<sup>3</sup>) d'une tige d'épinette de Norvège en plantation en fonction du DHP et de la hauteur totale, pour un diamètre de 24 cm au fin bout.

DHP (cm)	Hauteur (m)													
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
25	62,0	61,8	61,6	61,5	61,4	61,3	61,2	61,2	61,2	61,1	61,1	61,1	61,2	
26	94,3	96,1	98,0	99,8	101,8	103,7	105,7	107,6	109,6	111,5	113,4	115,3	117,0	
27	131,6	136,5	141,6	147,1	152,8	158,9	165,4	172,2	179,4	187,0	195,1	203,7	212,9	222,9
28	170,9	179,3	188,3	197,9	208,2	219,2	231,1	243,8	257,4	272,1	287,9	304,9	323,2	343,0
29	210,4	222,3	234,9	248,5	262,9	278,4	295,0	312,6	331,5	351,6	373,0	395,7	419,8	445,3
30	249,6	264,6	280,5	297,5	315,6	334,9	355,3	376,9	399,8	424,0	449,5	476,4	504,5	534,0
31									464,0	491,6	520,5	550,7	582,2	614,9
32									525,4	556,0	588,0	621,2	655,7	691,5
33									585,3	618,7	653,5	689,6	727,0	765,6
34									644,3	680,5	717,9	756,8	796,9	838,3
35													866,2	910,3
36													935,4	982,2
37													1004,9	1054,4
38													1074,8	1127,0
39														
40														
41														
42														
43														
44														
45														
46														
47														
48														
49														
50														

## Annexe 9. (suite et fin)

Hauteur (m)					DHP (cm)
28	29	30	31	32	
					25
					26
233,6	245,2	257,9			27
364,2	387,1	411,5			28
472,2	500,5	530,1			29
564,7	596,8	630,1			30
649,0	684,2	720,6			31
728,5	766,8	806,1			32
805,5	846,5	888,8			33
880,9	924,8	969,9			34
955,7	1002,4	1050,2			35
1030,4	1079,8	1130,4			36
1105,2	1157,4	1210,8	1265,5	1321,5	37
1180,6	1235,5	1291,7	1349,2	1408,1	38
		1373,3	1433,7	1495,4	39
		1455,8	1519,0	1583,6	40
		1539,3	1605,4	1672,9	41
		1624,0	1693,0	1763,4	42
		1709,9	1781,8	1855,2	43
		1797,1	1871,9	1948,3	44
		1885,7	1963,5	2042,8	45
		1975,7	2056,5	2138,8	46
		2067,2	2151,0	2236,4	47
		2160,3	2247,0	2335,5	48
		2254,9	2344,7	2436,3	49
		2351,2	2444,0	2538,7	50

Annexe 10. Abaque d'estimation du volume avec écorce (dm<sup>3</sup>) d'une tige d'épinette de Norvège en plantation en fonction du DHP et de la hauteur totale, pour un diamètre de 9 cm au fin bout.

DHP (cm)	Hauteur (m)													
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
10	15,7	16,5	17,6	19,0	20,6	22,3	24,3	26,5	28,9	31,5				
11	21,8	23,6	25,9	28,5	31,4	34,7	38,2	41,9	45,9	50,2				
12	28,0	30,7	34,0	37,6	41,7	46,0	50,7	55,7	61,0	66,5				
13				46,8	51,9	57,3	63,1	69,2	75,6	82,3	89,2	96,3	103,7	111,2
14				56,3	62,4	68,9	75,7	82,9	90,5	98,3	106,4	114,8	123,4	132,2
15				66,2	73,3	80,8	88,7	97,1	105,8	114,8	124,1	133,7	143,6	153,8
16				76,6	84,7	93,3	102,3	111,8	121,6	131,8	142,4	153,3	164,5	176,0
17				87,6	96,7	106,3	116,5	127,1	138,1	149,6	161,4	173,7	186,2	199,1
18				99,0	109,2	120,0	131,3	143,1	155,3	168,1	181,2	194,8	208,7	223,0
19				111,1	122,4	134,3	146,8	159,8	173,3	187,3	201,8	216,7	232,1	247,8
20				123,7	136,2	149,3	163,0	177,2	192,0	207,4	223,2	239,6	256,3	273,6
21				137,0	150,6	164,9	179,9	195,4	211,6	228,3	245,5	263,3	281,5	300,3
22				150,8	165,7	181,3	197,5	214,4	231,9	250,0	268,7	287,9	307,7	327,9
23										272,6	292,7	313,4	334,7	356,6
24										296,0	317,6	339,9	362,8	386,3
25										320,3	343,5	367,3	391,8	417,0
26										345,5	370,3	395,7	421,9	448,7
27										371,6	398,0	425,1	452,9	481,4
28										398,7	426,7	455,4	485,0	515,2
29										426,6	456,3	486,8	518,1	550,1
30										455,5	486,9	519,1	552,2	586,1
31														
32														
33														
34														
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41														
42														
43														
44														
45														
46														
47														
48														
49														
50														

Annexe 10. (suite et fin)

Hauteur (m)													DHP (cm)	
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
														10
														11
														12
														13
														14
														15
														16
														17
														18
263,9	280,4													19
291,2	309,2													20
319,4	339,0													21
348,7	369,9													22
379,0	401,9	425,2	449,0	473,3	498,0	523	549							23
410,3	434,9	460,0	485,6	511,6	538,1	565,1	592,4							24
442,7	469,0	495,9	523,2	551,1	579,5	608,4	637,7							25
476,1	504,2	532,9	562,1	591,9	622,2	653,0	684,3							26
510,6	540,5	571,0	602,1	633,8	666,0	698,8	732,1	766,0	800,3	835,0	870,2			27
546,2	577,9	610,3	643,3	676,9	711,1	746,0	781,3	817,2	853,7	890,6	928,0			28
582,9	616,5	650,7	685,7	721,3	757,5	794,4	831,8	869,9	908,5	947,6	987,3			29
620,7	656,1	692,3	729,2	766,8	805,1	844,1	883,7	923,9	964,7	1006,0	1047,9			30
			774,0	813,7	854,0	895,1	936,8	979,2	1022,3	1065,9	1110,1			31
			820,0	861,7	904,2	947,4	991,3	1036,0	1081,3	1127,2	1173,7			32
			867,2	911,1	955,7	1001,1	1047,2	1094,1	1141,7	1189,9	1238,9			33
			915,7	961,7	1008,5	1056,1	1104,4	1153,6	1203,5	1254,1	1305,5			34
							1163,0	1214,5	1266,8	1319,8	1373,5			35
							1223,0	1276,8	1331,5	1386,9	1443,1			36
							1284,4	1340,6	1397,6	1455,5	1514,2	1573,7	1634,0	37
							1347,1	1405,7	1465,2	1525,6	1586,8	1648,9	1711,8	38
											1661,0	1725,6	1791,1	39
											1737	1804	1872	40
											1814	1884	1955	41
											1893	1965	2039	42
											1973	2048	2125	43
											2055	2133	2212	44
											2138	2219	2301	45
											2223	2307	2392	46
											2310	2396	2484	47
											2398	2487	2578	48
											2488	2580	2673	49
											2579	2674	2771	50

Annexe 11. Abaque d'estimation du volume avec écorce (dm<sup>3</sup>) d'une tige d'épinette de Norvège en plantation en fonction du DHP et de la hauteur totale, pour un diamètre de 12 cm au fin bout.

DHP (cm)	Hauteur (m)													
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
13	28,7	30,3	32,2	34,2	36,5	39,0	41,7	44,6	47,8	51,2	54,9			
14	41,1	44,5	48,3	52,5	57,0	62,0	67,3	72,9	78,9	85,2	91,9			
15	53,2	58,1	63,5	69,3	75,6	82,3	89,4	96,9	104,7	112,9	121,4			
16	65,1	71,4	78,2	85,5	93,3	101,5	110,1	119,2	128,6	138,4	148,5			
17	77,2	84,8	92,9	101,5	110,7	120,3	130,4	140,9	151,8	163,1	174,8			
18	89,7	98,5	107,8	117,8	128,3	139,3	150,8	162,7	175,1	187,9	201,1			
19	102,4	112,5	123,1	134,4	146,2	158,6	171,5	184,9	198,8	213,1	227,8	242,9	258,4	
20	115,7	127,0	138,9	151,5	164,7	178,4	192,7	207,6	222,9	238,7	255,0	271,7	288,9	
21	129,5	142,0	155,3	169,2	183,7	198,8	214,6	230,9	247,7	265,1	283,0	301,3	320,0	
22	143,8	157,6	172,2	187,5	203,4	219,9	237,1	254,9	273,3	292,2	311,7	331,6	352,1	
23							260,4	279,7	299,6	320,1	341,2	362,8	385,0	407,6
24							284,4	305,3	326,8	348,9	371,6	394,9	418,8	443,2
25							309,3	331,7	354,8	378,6	403,0	428,0	453,6	479,8
26							335,0	359,0	383,7	409,2	435,3	462,1	489,5	517,5
27							361,5	387,2	413,6	440,7	468,6	497,1	526,4	556,2
28							388,9	416,3	444,4	473,2	502,9	533,2	564,3	596,1
29							417,2	446,2	476,1	506,7	538,2	570,4	603,3	637,0
30							446,4	477,2	508,8	541,2	574,5	608,6	643,4	679,0
31														
32														
33														
34														
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41														
42														
43														
44														
45														
46														
47														
48														
49														
50														

## Annexe 11. (suite et fin)

Hauteur (m)											DHP (cm)
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
											13
											14
											15
											16
											17
											18
											19
											20
											21
											22
430,7	454,3	478,3	502,6	527,4							23
468,1	493,5	519,4	545,7	572,4							24
506,6	533,8	561,6	589,9	618,6							25
546,1	575,3	605,0	635,2	665,9							26
586,7	617,8	649,5	681,7	714,5	747,8	781,5	815,8	850,5			27
628,5	661,5	695,2	729,5	764,3	799,7	835,6	872,0	908,9			28
671,4	706,4	742,1	778,4	815,4	852,9	891,0	929,6	968,8			29
715,4	752,5	790,2	828,7	867,7	907,4	947,8	988,6	1030,1			30
760,6	799,7	839,6	880,1	921,4	963,3	1005,8	1049,0	1092,8			31
807,0	848,2	890,2	932,9	976,4	1020,5	1065,3	1110,8	1156,9			32
854,6	897,9	942,0	987,0	1032,6	1079,0	1126,2	1174,0	1222,5			33
903,4	948,9	995,2	1042,3	1090,2	1138,9	1188,4	1238,6	1289,5			34
				1149,2	1200,2	1252,0	1304,6	1358,0			35
				1209,5	1262,9	1317,1	1372,1	1427,9			36
				1271,2	1326,9	1383,6	1441,1	1499,4	1558,5	1618,4	37
				1334,2	1392,4	1451,5	1511,5	1572,3	1634,0	1696,5	38
								1646,8	1711,0	1776,2	39
								1722,7	1789,6	1857,4	40
								1800,2	1869,7	1940,2	41
								1879,2	1951,4	2024,6	42
								1959,7	2034,7	2110,6	43
								2041,8	2119,5	2198,2	44
								2125,5	2205,9	2287,5	45
								2210,7	2294,0	2378,3	46
								2297,5	2383,6	2470,8	47
								2385,9	2474,8	2564,9	48
								2475,9	2567,7	2660,7	49
								2567,4	2662,2	2758,2	50

Annexe 12. Abaque d'estimation du volume avec écorce (dm<sup>3</sup>) d'une tige d'épinette de Norvège en plantation en fonction du DHP et de la hauteur totale, pour un diamètre de 15 cm au fin bout.

DHP (cm)	Hauteur (m)													
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
16	40,4	42,0	43,8	45,8	47,9	50,2	52,7	55,3	58,1	61,0	64,1			
17	55,6	59,2	63,2	67,6	72,4	77,7	83,3	89,3	95,8	102,8	110,2			
18	70,5	76,1	82,1	88,6	95,7	103,3	111,4	120,1	129,2	138,9	149,0			
19	85,4	92,6	100,4	108,9	117,8	127,4	137,6	148,3	159,5	171,3	183,6	196,4	209,6	
20	100,3	109,1	118,6	128,7	139,4	150,8	162,7	175,3	188,4	202,1	216,3	231,0	246,1	
21	115,3	125,7	136,8	148,5	160,8	173,9	187,5	201,8	216,7	232,2	248,2	264,7	281,7	
22	130,7	142,6	155,2	168,5	182,4	197,1	212,4	228,4	245,0	262,1	279,9	298,3	317,1	
23							237,5	255,2	273,5	292,4	311,9	332,0	352,7	373,9
24							263,1	282,4	302,4	323,1	344,3	366,2	388,7	411,8
25							289,3	310,3	331,9	354,3	377,4	401,1	425,4	450,4
26							316,1	338,7	362,1	386,3	411,1	436,6	462,8	489,6
27							343,6	368,0	393,1	419,0	445,6	473,0	501,1	529,8
28							371,9	397,9	424,8	452,5	481,0	510,2	540,2	570,8
29							400,9	428,7	457,4	486,9	517,2	548,4	580,2	612,9
30							430,8	460,4	490,9	522,2	554,4	587,4	621,3	655,9
31														
32														
33														
34														
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41														
42														
43														
44														
45														
46														
47														
48														
49														
50														

## Annexe 12. (suite et fin)

Hauteur (m)											DHP (cm)
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
											16
											17
											18
											19
											20
											21
											22
395,6	417,8	440,5	463,6	487,1							23
435,4	459,5	484,2	509,3	534,8							24
475,9	501,9	528,5	555,6	583,2							25
517,1	545,1	573,7	602,8	632,5							26
559,2	589,2	619,8	651,0	682,7	715,0	747,8	781,0	814,8			27
602,2	634,2	666,9	700,1	734,0	768,4	803,4	838,9	874,9			28
646,2	680,3	715,0	750,3	786,3	822,9	860,1	897,9	936,2			29
691,3	727,4	764,2	801,7	839,8	878,7	918,1	958,1	998,7			30
737,4	775,6	814,5	854,2	894,5	935,6	977,3	1019,6	1062,5			31
784,6	824,9	866,0	907,8	950,4	993,7	1037,7	1082,4	1127,7			32
832,9	875,4	918,6	962,7	1007,5	1053,1	1099,5	1146,5	1194,2			33
882,4	927,0	972,5	1018,8	1065,9	1113,8	1162,5	1211,9	1262,1			34
				1125,6	1175,8	1226,9	1278,8	1331,4			35
				1186,5	1239,2	1292,7	1347,0	1402,1			36
				1248,8	1303,9	1359,8	1416,6	1474,2	1532,6	1591,8	37
				1312,4	1369,9	1428,3	1487,6	1547,7	1608,8	1670,6	38
								1622,8	1686,4	1750,9	39
								1699,3	1765,5	1832,7	40
								1777,3	1846,2	1916,1	41
								1856,8	1928,4	2001,0	42
								1937,8	2012,1	2087,5	43
								2020,3	2097,4	2175,5	44
								2104,4	2184,2	2265,2	45
								2190	2272,7	2356,5	46
								2277,2	2362,7	2449,3	47
								2365,9	2454,3	2543,9	48
								2456,2	2547,5	2640	49
								2548,1	2642,3	2737,8	50

Annexe 13. Abaque d'estimation du volume avec écorce (dm<sup>3</sup>) d'une tige d'épinette de Norvège en plantation en fonction du DHP et de la hauteur totale, pour un diamètre de 18 cm au fin bout.

DHP (cm)	Hauteur (m)													
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
19	54,4	55,9	57,6	59,5	61,5	63,6	65,8	68,1	70,5	73,0	75,5	78,1	80,7	
20	72,1	75,9	79,9	84,4	89,1	94,2	99,7	105,5	111,8	118,5	125,6	133,1	141,2	
21	89,9	95,9	102,3	109,2	116,6	124,5	133,1	142,1	151,8	162,1	173,0	184,5	196,7	
22	107,7	115,7	124,2	133,4	143,2	153,6	164,7	176,5	188,9	202,0	215,8	230,2	245,3	
23							195,1	209,1	223,9	239,4	255,6	272,5	290,0	308,2
24							224,7	240,9	257,8	275,5	293,9	313,0	332,7	353,1
25							254,1	272,3	291,3	311,0	331,4	352,6	374,5	397,0
26							283,6	303,7	324,6	346,3	368,8	392,0	415,9	440,6
27							313,3	335,3	358,2	381,8	406,3	431,5	457,5	484,2
28							343,4	367,3	392,1	417,7	444,1	471,3	499,4	528,1
29							374,1	399,9	426,5	454,1	482,5	511,7	541,8	572,6
30							405,3	433,0	461,6	491,1	521,5	552,7	584,8	617,7
31														
32														
33														
34														
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41														
42														
43														
44														
45														
46														
47														
48														
49														
50														

## Annexe 13. (suite et fin)

Hauteur (m)											DHP (cm)
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
											19
											20
											21
											22
326,9	346,3	366,2	386,7	407,6							23
374,1	395,8	418,0	440,7	464,0							24
420,2	444,0	468,4	493,4	518,9							25
465,9	491,8	518,4	545,5	573,3							26
511,6	539,7	568,4	597,7	627,7	658,2	689,2	720,8	752,9			27
557,6	587,8	618,7	650,2	682,4	715,2	748,5	782,4	816,8			28
604,2	636,5	669,5	703,3	737,7	772,7	808,3	844,6	881,4			29
651,4	685,9	721,1	757,1	793,7	831,0	869,0	907,5	946,7			30
699,4	736,1	773,5	811,7	850,6	890,2	930,5	971,4	1013,0			31
748,3	787,2	826,8	867,2	908,4	950,3	992,9	1036,3	1080,3			32
798,2	839,2	881,0	923,7	967,2	1011,5	1056,5	1102,3	1148,7			33
849,0	892,2	936,4	981,3	1027,1	1073,8	1121,2	1169,4	1218,3			34
				1088,2	1137,2	1187,1	1237,7	1289,1			35
				1150,4	1201,9	1254,1	1307,3	1361,2			36
				1213,9	1267,7	1322,5	1378,1	1434,6	1491,9	1550,1	37
				1278,5	1334,9	1392,1	1450,3	1509,4	1569,3	1630,1	38
								1585,5	1648,1	1711,5	39
								1663,0	1728,2	1794,4	40
								1741,9	1809,9	1878,7	41
								1822,3	1892,9	1964,6	42
								1904,1	1977,5	2051,9	43
								1987,4	2063,6	2140,8	44
								2072,2	2151,2	2231,2	45
								2158,5	2240,3	2323,2	46
								2246,3	2330,9	2416,7	47
								2335,7	2423,2	2511,9	48
								2426,6	2517,0	2608,6	49
								2519,0	2612,4	2707,0	50

Annexe 14. Abaque d'estimation du volume avec écorce (dm<sup>3</sup>) d'une tige d'épinette de Norvège en plantation en fonction du DHP et de la hauteur totale, pour un diamètre de 21 cm au fin bout.

DHP (cm)	Hauteur (m)													
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
22	49,0	48,3	47,8	47,3	47,0	46,7	46,5	46,3	46,1	46,0	45,9	45,8	45,8	
23	70,5	72,0	73,7	75,4	77,3	79,3	81,3	83,4	85,5	87,7	89,9	92,0	94,2	
24							117,8	123,2	128,9	135,0	141,3	147,9	154,9	162,3
25							155,3	164,4	173,9	184,0	194,8	206,2	218,2	230,9
26							192,1	204,3	217,2	230,9	245,3	260,5	276,4	293,1
27							227,7	242,7	258,5	275,2	292,6	310,9	330,0	349,9
28							262,4	280,0	298,4	317,7	337,9	358,9	380,7	403,4
29							296,7	316,6	337,5	359,2	381,8	405,3	429,7	454,9
30							330,7	353,0	376,1	400,2	425,1	451,0	477,7	505,3
31							364,9	389,3	414,7	441,0	468,2	496,3	525,4	555,4
32														
33														
34														
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41														
42														
43														
44														
45														
46														
47														
48														
49														
50														

## Annexe 14. (suite et fin)

Hauteur (m)											DHP (cm)
22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
											22
											23
170,0	178,1	186,7	195,7	205,3							24
244,4	258,5	273,5	289,2	305,7							25
310,7	329,0	348,1	367,9	388,6							26
370,7	392,2	414,4	437,5	461,2							27
426,9	451,1	476,2	502,0	528,4	555,6	583,5	611,9	641,0			28
480,9	507,7	535,3	563,7	592,8	622,6	653,0	684,1	715,8			29
533,8	563,1	593,1	624,0	655,6	687,9	720,8	754,5	788,8			30
586,2	617,8	650,3	683,6	717,6	752,4	787,9	824,1	860,9			31
638,5	672,5	707,4	743,0	779,5	816,7	854,7	893,4	932,7			32
691,0	727,3	764,6	802,6	841,5	881,2	921,7	962,8	1004,8			33
743,9	782,6	822,2	862,7	904,0	946,1	989,0	1032,7	1077,2			34
797,5	838,5	880,4	923,3	967,0	1011,6	1057,0	1103,3	1150,3			35
				1030,8	1077,9	1125,8	1174,6	1224,2			36
				1095,5	1145,0	1195,5	1246,8	1299,0			37
				1161,1	1213,1	1266,1	1320,0	1374,8	1430,5	1487,0	38
				1227,7	1282,3	1337,9	1394,4	1451,8	1510,1	1569,3	39
								1529,9	1590,9	1652,8	40
								1609,2	1672,9	1737,5	41
								1689,8	1756,2	1823,6	42
								1771,7	1840,9	1911,1	43
								1854,9	1926,9	1999,9	44
								1939,5	2014,3	2090,1	45
								2025,5	2103,1	2181,8	46
								2113,0	2193,4	2275,0	47
								2201,8	2285,2	2369,7	48
								2292,2	2378,4	2465,9	49
								2384,0	2473,2	2563,6	50

Annexe 15. Abaque d'estimation du volume avec écorce (dm<sup>3</sup>) d'une tige d'épinette de Norvège en plantation en fonction du DHP et de la hauteur totale, pour un diamètre de 24 cm au fin bout.

DHP (cm)	Hauteur (m)													
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
25	99,2	101,1	103,1	105,0	107,0	108,9	110,8	112,7	114,5	116,2	117,8	119,4	120,8	
26	138,0	143,1	148,3	153,7	159,3	165,1	171,0	177,1	183,4	189,9	196,5	203,3	210,3	
27	179,1	187,8	196,9	206,5	216,6	227,2	238,3	250,0	262,3	275,2	288,9	303,2	318,3	334,3
28	220,4	232,6	245,5	259,1	273,4	288,5	304,3	321,0	338,5	356,9	376,2	396,4	417,5	439,6
29	261,0	276,5	292,8	310,0	328,0	346,8	366,6	387,3	409,0	431,6	455,1	479,6	505,0	531,3
30	300,8	319,3	338,7	359,0	380,3	402,5	425,7	449,8	474,9	501,0	528,0	556,0	584,8	614,6
31									537,7	566,9	597,0	628,1	660,1	692,9
32									598,7	630,7	663,7	697,6	732,5	768,3
33									658,5	693,2	728,9	765,6	803,3	841,9
34									717,7	755,1	793,5	832,9	873,2	914,5
35													942,8	986,8
36													1012,4	1059,0
37													1082,3	1131,5
38													1152,6	1204,6
39														
40														
41														
42														
43														
44														
45														
46														
47														
48														
49														
50														

## Annexe 15. (suite et fin)

Hauteur (m)					DHP (cm)
28	29	30	31	32	
					25
					26
351,1	368,8	387,5			27
462,6	486,5	511,4			28
558,6	586,7	615,6			29
645,3	676,8	709,2			30
726,7	761,3	796,7			31
804,9	842,4	880,8			32
881,3	921,6	962,8			33
956,7	999,8	1043,7			34
1031,7	1077,5	1124,2			35
1106,6	1155,2	1204,6			36
1181,8	1233,1	1285,3	1338,3	1392,3	37
1257,5	1311,5	1366,4	1422,3	1479,1	38
		1448,2	1506,9	1566,5	39
		1530,9	1592,3	1654,7	40
		1614,4	1678,7	1743,9	41
		1699,0	1766,1	1834,2	42
		1784,7	1854,6	1925,6	43
		1871,6	1944,3	2018,2	44
		1959,6	2035,3	2112,1	45
		2049,0	2127,5	2207,2	46
		2139,6	2221,1	2303,8	47
		2231,6	2316,0	2401,7	48
		2325,0	2412,3	2501,0	49
		2419,7	2510,1	2601,8	50

Annexe 16. Abaque d'estimation de la hauteur dominante (m) d'une plantation d'épinette de Norvège en fonction de l'âge de la plantation et de l'indice de qualité de station.

Âge (années)	Indice de qualité de station (m à 25 ans)												
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5
4	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0
5	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1	1,2	1,4	1,6
6	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,3
7	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	1,8	2,1	2,4	2,7	3,0
8	0,4	0,5	0,7	1,0	1,2	1,4	1,7	2,0	2,3	2,7	3,0	3,4	3,7
9	0,5	0,7	1,0	1,2	1,5	1,8	2,2	2,5	2,9	3,3	3,7	4,1	4,5
10	0,7	0,9	1,2	1,5	1,9	2,2	2,6	3,0	3,4	3,9	4,3	4,8	5,3
11	0,8	1,1	1,5	1,9	2,2	2,7	3,1	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,1
12	1,0	1,4	1,8	2,2	2,6	3,1	3,6	4,1	4,6	5,1	5,7	6,3	6,8
13	1,2	1,6	2,1	2,5	3,0	3,5	4,1	4,6	5,2	5,8	6,4	7,0	7,6
14	1,4	1,9	2,4	2,9	3,4	4,0	4,6	5,2	5,8	6,4	7,0	7,7	8,4
15	1,6	2,1	2,7	3,2	3,8	4,4	5,1	5,7	6,4	7,0	7,7	8,4	9,1
16	1,8	2,4	3,0	3,6	4,2	4,9	5,6	6,3	6,9	7,7	8,4	9,1	9,9
17	2,0	2,7	3,3	4,0	4,7	5,4	6,1	6,8	7,5	8,3	9,0	9,8	10,6
18	2,3	2,9	3,6	4,4	5,1	5,8	6,6	7,3	8,1	8,9	9,7	10,5	11,3
19	2,5	3,2	4,0	4,7	5,5	6,3	7,1	7,9	8,7	9,5	10,3	11,2	12,0
20	2,8	3,5	4,3	5,1	5,9	6,7	7,6	8,4	9,3	10,1	11,0	11,8	12,7
21	3,0	3,8	4,6	5,5	6,3	7,2	8,1	8,9	9,8	10,7	11,6	12,5	13,4
22	3,2	4,1	5,0	5,9	6,8	7,7	8,6	9,5	10,4	11,3	12,2	13,1	14,1
23	3,5	4,4	5,3	6,2	7,2	8,1	9,0	10,0	10,9	11,9	12,8	13,8	14,7
24	3,7	4,7	5,7	6,6	7,6	8,6	9,5	10,5	11,5	12,4	13,4	14,4	15,4
25	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0
26	4,3	5,3	6,3	7,4	8,4	9,4	10,5	11,5	12,5	13,6	14,6	15,6	16,6
27	4,5	5,6	6,7	7,7	8,8	9,9	10,9	12,0	13,0	14,1	15,1	16,2	17,2
28	4,8	5,9	7,0	8,1	9,2	10,3	11,4	12,5	13,6	14,6	15,7	16,8	17,8
29	5,0	6,2	7,4	8,5	9,6	10,7	11,9	13,0	14,1	15,2	16,3	17,3	18,4
30	5,3	6,5	7,7	8,9	10,0	11,2	12,3	13,4	14,6	15,7	16,8	17,9	19,0
31	5,5	6,8	8,0	9,2	10,4	11,6	12,8	13,9	15,1	16,2	17,3	18,5	19,6
32	5,8	7,1	8,3	9,6	10,8	12,0	13,2	14,4	15,5	16,7	17,9	19,0	20,1
33	6,1	7,4	8,7	9,9	11,2	12,4	13,6	14,8	16,0	17,2	18,4	19,5	20,7
34	6,3	7,7	9,0	10,3	11,6	12,8	14,1	15,3	16,5	17,7	18,9	20,1	21,2
35	6,6	8,0	9,3	10,7	12,0	13,2	14,5	15,7	17,0	18,2	19,4	20,6	21,7
36	6,8	8,3	9,7	11,0	12,3	13,6	14,9	16,2	17,4	18,7	19,9	21,1	22,3
37	7,1	8,6	10,0	11,4	12,7	14,0	15,3	16,6	17,9	19,1	20,4	21,6	22,8

## Annexe 16. (suite et fin)

Âge (années)	Indice de qualité de station (m à 25 ans)												
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
38	7,4	8,8	10,3	11,7	13,1	14,4	15,7	17,0	18,3	19,6	20,8	22,1	23,3
39	7,6	9,1	10,6	12,0	13,4	14,8	16,2	17,5	18,8	20,0	21,3	22,5	23,8
40	7,9	9,4	10,9	12,4	13,8	15,2	16,6	17,9	19,2	20,5	21,8	23,0	24,3
41	8,1	9,7	11,2	12,7	14,2	15,6	17,0	18,3	19,6	20,9	22,2	23,5	24,7
42	8,4	10,0	11,6	13,1	14,5	16,0	17,3	18,7	20,1	21,4	22,7	24,0	25,2
43	8,6	10,3	11,9	13,4	14,9	16,3	17,7	19,1	20,5	21,8	23,1	24,4	25,7
44	8,9	10,6	12,2	13,7	15,2	16,7	18,1	19,5	20,9	22,2	23,6	24,9	26,1
45	9,1	10,8	12,5	14,0	15,6	17,1	18,5	19,9	21,3	22,7	24,0	25,3	26,6
46	9,4	11,1	12,8	14,4	15,9	17,4	18,9	20,3	21,7	23,1	24,4	25,7	27,0
47	9,6	11,4	13,1	14,7	16,3	17,8	19,2	20,7	22,1	23,5	24,8	26,2	27,5
48	9,9	11,7	13,4	15,0	16,6	18,1	19,6	21,1	22,5	23,9	25,2	26,6	27,9
49	10,1	11,9	13,7	15,3	16,9	18,5	20,0	21,4	22,9	24,3	25,6	27,0	28,3
50	10,3	12,2	14,0	15,6	17,2	18,8	20,3	21,8	23,3	24,7	26,0	27,4	28,7
51	10,6	12,5	14,2	15,9	17,6	19,2	20,7	22,2	23,6	25,1	26,4	27,8	29,2
52	10,8	12,7	14,5	16,2	17,9	19,5	21,0	22,5	24,0	25,4	26,8	28,2	29,6
53	11,1	13,0	14,8	16,5	18,2	19,8	21,4	22,9	24,4	25,8	27,2	28,6	30,0
54	11,3	13,3	15,1	16,8	18,5	20,2	21,7	23,2	24,7	26,2	27,6	29,0	30,4
55	11,5	13,5	15,4	17,1	18,8	20,5	22,1	23,6	25,1	26,6	28,0	29,4	30,7
56	11,8	13,8	15,7	17,4	19,2	20,8	22,4	23,9	25,4	26,9	28,4	29,8	31,1
57	12,0	14,0	15,9	17,7	19,5	21,1	22,7	24,3	25,8	27,3	28,7	30,1	31,5
58	12,2	14,3	16,2	18,0	19,8	21,4	23,1	24,6	26,1	27,6	29,1	30,5	31,9
59	12,5	14,5	16,5	18,3	20,1	21,7	23,4	25,0	26,5	28,0	29,4	30,9	32,3
60	12,7	14,8	16,7	18,6	20,4	22,1	23,7	25,3	26,8	28,3	29,8	31,2	32,6

Annexe 17. Abaque d'estimation de la croissance annuelle en hauteur dominante (cm) d'une plantation d'épinette de Norvège en fonction de l'âge de la plantation et de l'indice de qualité de station.

Âge (années)	Indice de qualité de station (m à 25 ans)												
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,9	1,2	1,5
2	0,2	0,5	0,8	1,3	2,0	2,8	3,8	5,1	6,6	8,4	10,4	12,8	15,5
3	1,3	2,2	3,4	4,9	6,7	8,9	11,5	14,4	17,6	21,3	25,3	29,6	34,4
4	3,0	4,8	6,9	9,5	12,5	15,9	19,6	23,7	28,2	33,0	38,2	43,6	49,4
5	5,1	7,7	10,7	14,2	18,0	22,2	26,7	31,6	36,8	42,2	47,9	53,8	60,0
6	7,3	10,6	14,3	18,4	22,8	27,6	32,6	37,8	43,3	49,0	54,9	61,0	67,2
7	9,5	13,3	17,5	22,1	26,9	31,9	37,2	42,6	48,2	54,0	59,8	65,8	71,9
8	11,5	15,8	20,4	25,2	30,2	35,4	40,8	46,3	51,8	57,5	63,2	69,0	74,9
9	13,4	18,0	22,8	27,8	32,9	38,2	43,6	49,0	54,4	60,0	65,5	71,0	76,6
10	15,0	19,9	24,8	29,9	35,1	40,4	45,7	51,0	56,3	61,6	66,9	72,2	77,5
11	16,5	21,5	26,6	31,7	36,9	42,1	47,2	52,4	57,5	62,6	67,7	72,7	77,7
12	17,9	22,9	28,0	33,2	38,3	43,4	48,4	53,4	58,3	63,2	68,0	72,8	77,5
13	19,0	24,2	29,3	34,3	39,4	44,3	49,2	54,0	58,8	63,4	68,0	72,5	76,9
14	20,0	25,2	30,3	35,3	40,2	45,0	49,8	54,4	59,0	63,4	67,7	72,0	76,1
15	20,9	26,1	31,1	36,1	40,9	45,5	50,1	54,6	58,9	63,1	67,3	71,3	75,2
16	21,7	26,9	31,8	36,6	41,3	45,9	50,3	54,5	58,7	62,7	66,7	70,5	74,2
17	22,4	27,5	32,4	37,1	41,7	46,0	50,3	54,4	58,4	62,2	65,9	69,5	73,0
18	23,0	28,0	32,8	37,4	41,9	46,1	50,2	54,1	57,9	61,6	65,1	68,5	71,8
19	23,5	28,5	33,2	37,7	42,0	46,1	50,0	53,8	57,4	60,9	64,3	67,5	70,6
20	24,0	28,9	33,5	37,8	42,0	46,0	49,7	53,4	56,8	60,2	63,4	66,4	69,4
21	24,4	29,2	33,7	37,9	41,9	45,8	49,4	52,9	56,2	59,4	62,5	65,4	68,2
22	24,7	29,4	33,8	37,9	41,8	45,5	49,1	52,4	55,6	58,6	61,5	64,3	66,9
23	25,0	29,6	33,9	37,9	41,7	45,3	48,6	51,9	54,9	57,8	60,6	63,2	65,7
24	25,2	29,7	33,9	37,8	41,5	45,0	48,2	51,3	54,2	57,0	59,6	62,1	64,5
25	25,4	29,8	33,9	37,7	41,3	44,6	47,7	50,7	53,5	56,2	58,7	61,1	63,3
26	25,5	29,9	33,9	37,6	41,0	44,2	47,3	50,1	52,8	55,3	57,7	60,0	62,2
27	25,7	29,9	33,8	37,4	40,7	43,9	46,8	49,5	52,1	54,5	56,8	59,0	61,1
28	25,7	29,9	33,7	37,2	40,4	43,5	46,3	48,9	51,4	53,7	55,9	58,0	60,0
29	25,8	29,9	33,6	37,0	40,1	43,0	45,8	48,3	50,7	52,9	55,0	57,0	58,9
30	25,9	29,9	33,5	36,8	39,8	42,6	45,2	47,7	50,0	52,1	54,1	56,0	57,8
31	25,9	29,8	33,3	36,5	39,5	42,2	44,7	47,1	49,3	51,3	53,3	55,1	56,8
32	25,9	29,7	33,2	36,3	39,1	41,8	44,2	46,5	48,6	50,6	52,4	54,2	55,8
33	25,9	29,6	33,0	36,0	38,8	41,3	43,7	45,9	47,9	49,8	51,6	53,3	54,8
34	25,9	29,5	32,8	35,7	38,4	40,9	43,2	45,3	47,3	49,1	50,8	52,4	53,9
35	25,8	29,4	32,6	35,5	38,1	40,5	42,7	44,7	46,6	48,4	50,0	51,5	53,0
36	25,8	29,3	32,4	35,2	37,7	40,0	42,2	44,1	46,0	47,7	49,2	50,7	52,1
37	25,7	29,1	32,2	34,9	37,4	39,6	41,7	43,6	45,3	47,0	48,5	49,9	51,2

## Annexe 17. (suite et fin)

Âge (années)	Indice de qualité de station (m à 25 ans)												
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
38	25,6	29,0	31,9	34,6	37,0	39,2	41,2	43,0	44,7	46,3	47,8	49,1	50,4
39	25,6	28,8	31,7	34,3	36,6	38,8	40,7	42,5	44,1	45,6	47,0	48,3	49,6
40	25,5	28,7	31,5	34,0	36,3	38,3	40,2	41,9	43,5	45,0	46,3	47,6	48,8
41	25,4	28,5	31,3	33,7	35,9	37,9	39,7	41,4	42,9	44,3	45,7	46,9	48,0
42	25,3	28,4	31,0	33,4	35,6	37,5	39,3	40,9	42,4	43,7	45,0	46,1	47,2
43	25,2	28,2	30,8	33,1	35,2	37,1	38,8	40,4	41,8	43,1	44,3	45,4	46,5
44	25,1	28,0	30,6	32,8	34,9	36,7	38,4	39,9	41,3	42,5	43,7	44,8	45,8
45	25,0	27,8	30,3	32,5	34,5	36,3	37,9	39,4	40,7	41,9	43,1	44,1	45,1
46	24,8	27,7	30,1	32,3	34,2	35,9	37,5	38,9	40,2	41,4	42,5	43,5	44,4
47	24,7	27,5	29,9	32,0	33,8	35,5	37,0	38,4	39,7	40,8	41,9	42,8	43,7
48	24,6	27,3	29,6	31,7	33,5	35,1	36,6	38,0	39,2	40,3	41,3	42,2	43,1
49	24,5	27,1	29,4	31,4	33,2	34,8	36,2	37,5	38,7	39,7	40,7	41,6	42,5
50	24,3	26,9	29,2	31,1	32,9	34,4	35,8	37,0	38,2	39,2	40,2	41,0	41,8
51	24,2	26,8	28,9	30,8	32,5	34,0	35,4	36,6	37,7	38,7	39,6	40,5	41,2
52	24,1	26,6	28,7	30,6	32,2	33,7	35,0	36,2	37,3	38,2	39,1	39,9	40,7
53	23,9	26,4	28,5	30,3	31,9	33,3	34,6	35,8	36,8	37,7	38,6	39,4	40,1
54	23,8	26,2	28,2	30,0	31,6	33,0	34,2	35,3	36,4	37,3	38,1	38,9	39,5
55	23,7	26,0	28,0	29,8	31,3	32,6	33,8	34,9	35,9	36,8	37,6	38,3	39,0
56	23,5	25,8	27,8	29,5	31,0	32,3	33,5	34,5	35,5	36,3	37,1	37,8	38,5
57	23,4	25,7	27,6	29,2	30,7	32,0	33,1	34,1	35,1	35,9	36,7	37,3	38,0
58	23,3	25,5	27,4	29,0	30,4	31,6	32,8	33,8	34,7	35,5	36,2	36,9	37,5
59	23,1	25,3	27,1	28,7	30,1	31,3	32,4	33,4	34,3	35,0	35,8	36,4	37,0
60	23,0	25,1	26,9	28,5	29,8	31,0	32,1	33,0	33,9	34,6	35,3	35,9	36,5

Annexe 18. Table de rendement pour les plantations d'épinette de Norvège avec un IQS<sub>25</sub> de 4 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement : 2 000 plants à l'hectare).

Âge de la plantation (années)	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)			DHP (cm)			Volume sans écorce (m <sup>3</sup> /ha)			Nombre de tiges (/ha)			Accroissement annuel moyen en volume (m <sup>3</sup> /ha)				
		> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	
8	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
9	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
10	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
11	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
12	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
13	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
14	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
15	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
16	1,8	0,7	0,5	0,3	0,2	2,6	.	.	0,4	0,2	0,1	0,0	1376	93	37	12	0,0	0,0
17	2,0	1,6	1,2	0,8	0,4	3,0	.	.	1,0	0,5	0,2	0,0	2281	216	94	33	0,1	0,0
18	2,3	2,4	2,0	1,5	0,8	3,3	.	.	1,7	0,9	0,4	0,1	2788	343	160	60	0,1	0,0
19	2,5	3,2	2,8	2,2	1,3	3,6	.	.	2,5	1,5	0,6	0,1	3061	464	230	93	0,1	0,0
20	2,8	3,9	3,6	2,9	1,9	4,0	.	.	3,4	2,1	1,0	0,3	3193	576	300	129	0,2	0,1
21	3,0	4,7	4,4	3,6	2,5	4,3	9,1	.	4,4	3,0	1,5	0,5	3237	676	368	168	0,2	0,1
22	3,2	5,4	5,1	4,3	3,1	4,6	9,2	.	5,5	3,9	2,2	0,8	3227	763	432	207	0,3	0,2
23	3,5	6,0	5,8	5,1	3,7	4,9	9,4	.	6,7	5,0	3,0	1,2	3183	839	491	246	0,3	0,2
24	3,7	6,7	6,4	5,7	4,3	5,2	9,5	.	8,1	6,1	3,9	1,7	3118	905	545	284	0,3	0,2
25	4,0	7,3	7,0	6,4	5,0	5,5	9,7	.	9,5	7,4	5,0	2,4	3040	962	594	320	0,4	0,3
26	4,3	7,9	7,6	7,0	5,6	5,8	9,8	.	11,0	8,9	6,2	3,1	2956	1010	637	355	0,4	0,3
27	4,5	8,4	8,2	7,6	6,2	6,1	10,0	.	12,5	10,4	7,5	4,1	2867	1050	676	388	0,5	0,4
28	4,8	9,0	8,7	8,1	6,8	6,4	10,1	12,1	14,2	12,0	8,9	5,1	2777	1084	711	418	0,5	0,4
29	5,0	9,5	9,2	8,7	7,3	6,7	10,3	12,2	15,9	13,6	10,4	6,3	2688	1112	741	446	0,5	0,4
30	5,3	9,9	9,7	9,2	7,9	7,0	10,4	12,3	17,7	15,4	12,1	7,6	2600	1135	767	471	0,6	0,5
31	5,5	10,4	10,1	9,7	8,4	7,3	10,6	12,5	19,5	17,2	13,8	9,1	2514	1153	789	494	0,6	0,5
32	5,8	10,8	10,5	10,1	8,9	7,5	10,7	12,6	21,4	19,1	15,6	10,6	2431	1167	808	515	0,7	0,6
33	6,1	11,3	10,9	10,5	9,3	7,8	10,9	12,7	23,3	21,0	17,4	12,2	2351	1178	824	533	0,7	0,6
34	6,3	11,6	11,3	10,9	9,8	8,1	11,0	12,9	25,3	23,0	19,3	13,9	2274	1185	838	550	0,7	0,6
35	6,6	12,0	11,7	11,3	10,2	8,3	11,2	13,0	27,3	25,0	21,3	15,7	2199	1189	849	565	0,8	0,7
36	6,8	12,4	12,0	11,7	10,6	8,6	11,3	13,2	29,4	27,0	23,3	17,5	2128	1191	857	577	0,8	0,7
37	7,1	12,7	12,4	12,0	11,0	8,9	11,5	13,3	31,5	29,1	25,3	19,4	2060	1191	864	588	0,9	0,8
38	7,4	13,0	12,7	12,3	11,3	9,1	11,7	13,4	33,6	31,2	27,3	21,3	1995	1188	869	598	0,9	0,8

39	7,6	13,3	13,0	12,6	11,6	9,4	11,8	13,6	15,6	35,7	33,3	29,4	23,2	1932	1184	872	606	0,9	0,9	0,8	0,8	0,6		
40	7,9	13,6	13,3	12,9	12,0	9,6	12,0	13,7	15,8	37,9	35,5	31,5	25,2	1873	1178	873	612	0,9	0,9	0,8	0,8	0,6		
41	8,1	13,9	13,5	13,2	12,3	9,9	12,1	13,9	15,9	40,1	37,6	33,6	27,1	1816	1171	874	618	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7		
42	8,4	14,2	13,8	13,4	12,5	10,1	12,3	14,0	16,0	42,3	39,8	35,7	29,1	1761	1163	873	622	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7		
43	8,6	14,4	14,0	13,7	12,8	10,4	12,4	14,1	16,1	44,5	42,0	37,8	31,1	1709	1153	871	625	1,0	1,0	0,9	0,9	0,7		
44	8,9	14,7	14,3	13,9	13,0	10,6	12,6	14,3	16,3	46,7	44,1	39,9	33,1	1659	1143	868	627	1,1	1,0	0,9	0,9	0,8		
45	9,1	14,9	14,5	14,1	13,3	10,8	12,8	14,4	16,4	49,0	46,3	42,0	35,1	1612	1132	864	629	1,1	1,0	0,9	0,9	0,8		
46	9,4	15,1	14,7	14,3	13,5	11,1	12,9	14,6	16,5	51,2	48,5	44,1	37,0	1566	1121	860	629	1,1	1,1	1,0	1,0	0,8		
47	9,6	15,3	14,9	14,5	13,7	11,3	13,1	14,7	16,7	53,4	50,7	46,2	39,0	1523	1108	855	629	1,1	1,1	1,0	1,0	0,8		
48	9,9	15,5	15,1	14,7	13,9	11,5	13,2	14,9	16,8	55,7	52,9	48,3	41,0	1481	1096	849	628	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9		
49	10,1	15,7	15,3	14,9	14,1	11,8	13,4	15,0	16,9	58,0	55,1	50,4	42,9	1441	1083	843	627	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9		
50	10,3	15,9	15,4	15,1	14,3	12,0	13,6	15,1	17,0	60,2	57,3	52,5	44,9	1403	1069	837	626	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9		
51	10,6	16,0	15,6	15,2	14,4	12,2	13,7	15,3	17,2	62,5	59,5	54,5	46,8	1367	1056	830	623	1,2	1,2	1,1	1,1	0,9		
52	10,8	16,2	15,8	15,4	14,6	12,4	13,9	15,4	17,3	64,7	61,7	56,6	48,7	1332	1042	822	621	1,2	1,2	1,1	1,1	0,9		
53	11,1	16,3	15,9	15,5	14,7	12,7	14,0	15,6	17,4	67,0	63,9	58,7	50,6	1298	1028	815	618	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0		
54	11,3	16,5	16,0	15,7	14,9	12,9	14,2	15,7	17,6	69,2	66,1	60,7	52,5	1266	1014	807	614	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0		
55	11,5	16,6	16,2	15,8	15,0	13,1	14,3	15,9	17,7	71,5	68,2	62,8	54,4	1235	1000	799	611	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0		
56	11,8	16,8	16,3	15,9	15,2	13,3	14,5	16,0	17,8	73,7	70,4	64,8	56,2	1205	986	791	607	1,3	1,3	1,2	1,2	1,0		
57	12,0	16,9	16,4	16,1	15,3	13,5	14,7	16,2	18,0	76,0	72,6	66,8	58,1	1177	973	783	603	1,3	1,3	1,2	1,2	1,0		
58	12,2	17,0	16,5	16,2	15,4	13,7	14,8	16,3	18,1	78,2	74,7	68,8	59,9	1149	959	774	599	1,3	1,3	1,2	1,2	1,0		
59	12,5	17,1	16,7	16,3	15,5	13,9	15,0	16,5	18,2	80,4	76,8	70,8	61,7	1123	945	766	594	1,4	1,3	1,2	1,2	1,0		
60	12,7	17,2	16,8	16,4	15,6	14,1	15,1	16,6	18,4	82,6	79,0	72,8	63,5	1098	931	757	590	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1		
61	12,9	17,3	16,9	16,5	15,7	14,3	15,3	16,7	18,5	84,8	81,1	74,8	65,3	1073	917	749	585	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1		
62	13,2	17,4	17,0	16,6	15,8	14,5	15,5	16,9	18,6	87,0	83,2	76,8	67,1	1050	904	740	580	1,4	1,3	1,2	1,2	1,1		
63	13,4	17,5	17,0	16,7	15,9	14,7	15,6	17,0	18,7	89,2	85,3	78,7	68,8	1027	891	731	575	1,4	1,4	1,2	1,2	1,1		
64	13,6	17,6	17,1	16,8	16,0	14,9	15,8	17,2	18,9	91,4	87,4	80,7	70,5	1005	877	723	570	1,4	1,4	1,3	1,3	1,1		
65	13,8	17,7	17,2	16,8	16,0	15,1	15,9	17,3	19,0	93,5	89,4	82,6	72,3	984	864	714	565	1,4	1,4	1,3	1,3	1,1		
66	14,1	17,8	17,3	16,9	16,1	15,3	16,1	17,5	19,1	95,7	91,5	84,5	74,0	964	851	706	560	1,4	1,4	1,3	1,3	1,1		
67	14,3	17,8	17,4	17,0	16,2	15,5	16,2	17,6	19,3	97,8	93,5	86,4	75,7	944	839	697	555	1,5	1,4	1,3	1,3	1,1		
68	14,5	17,9	17,4	17,0	16,3	15,7	16,4	17,8	19,4	99,9	95,6	88,3	77,4	925	826	689	550	1,5	1,4	1,3	1,3	1,1		
69	14,7	18,0	17,5	17,1	16,3	15,9	16,5	17,9	19,5	102,0	97,6	90,2	79,0	907	814	680	545	1,5	1,4	1,3	1,3	1,1		
70	14,9	18,1	17,6	17,2	16,4	16,1	16,7	18,0	19,7	104,1	99,6	92,0	80,7	889	802	672	539	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2		
Âge de la plantation (années)	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)			DHP (cm)			Volume sans écorce (m <sup>3</sup> /ha)			Nombre de tiges (/ha)			Accroissement annuel moyen en volume (m <sup>3</sup> /ha)										
> 0	> 0	> 9	> 12	> 15	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm

Annexe 18. (suite et fin)

Annexe 19. Table de rendement pour les plantations d'épinette de Norvège avec un IQS<sub>25</sub> de 5 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement : 2 000 plants à l'hectare).

Âge de la plantation (années)	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)			DHP (cm)			Volume sans écorce (m <sup>3</sup> /ha)			Nombre de tiges (/ha)			Accroissement annuel moyen en volume (m <sup>3</sup> /ha)				
		> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	
8	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
9	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
10	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
11	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
12	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
13	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
14	1,9	0,1	0,0	0,0	0,0	2,5	.	.	0,1	0,0	0,0	0,0	203	8	2	0,0	0,0	0,0
15	2,1	1,1	0,6	0,4	0,2	2,9	.	.	0,7	0,3	0,1	0,0	1715	111	41	0,0	0,0	0,0
16	2,4	2,1	1,4	0,9	0,5	3,3	.	.	1,6	0,7	0,2	0,0	2522	248	101	0,0	0,0	0,0
17	2,7	3,1	2,4	1,7	0,9	3,7	.	.	2,6	1,3	0,4	0,1	2947	397	176	0,0	0,0	0,0
18	2,9	4,1	3,4	2,5	1,4	4,1	.	.	3,8	2,1	0,8	0,2	3155	543	259	0,0	0,0	0,0
19	3,2	5,0	4,4	3,4	2,1	4,4	9,1	.	5,1	3,1	1,3	0,3	3238	677	344	0,0	0,0	0,0
20	3,5	5,9	5,4	4,4	2,8	4,8	9,3	.	6,7	4,2	2,0	0,6	3248	796	426	0,0	0,0	0,0
21	3,8	6,8	6,4	5,3	3,6	5,2	9,5	.	8,4	5,6	2,9	0,9	3213	899	503	0,0	0,0	0,0
22	4,1	7,6	7,2	6,2	4,4	5,6	9,7	.	10,2	7,2	4,0	1,4	3152	986	575	0,0	0,0	0,0
23	4,4	8,4	8,1	7,1	5,2	5,9	9,9	.	12,2	9,0	5,4	2,1	3077	1060	640	0,0	0,0	0,0
24	4,7	9,2	8,9	7,9	6,0	6,3	10,0	12,0	14,3	10,9	6,9	3,0	2992	1122	697	0,0	0,0	0,0
25	5,0	9,9	9,6	8,7	6,8	6,6	10,2	12,2	16,6	13,0	8,7	4,1	2904	1173	749	0,0	0,0	0,0
26	5,3	10,6	10,3	9,5	7,5	6,9	10,4	12,3	18,9	15,3	10,6	5,4	2814	1216	794	0,0	0,0	0,0
27	5,6	11,3	11,0	10,2	8,3	7,3	10,6	12,5	21,4	17,7	12,8	6,9	2725	1250	833	0,0	0,0	0,0
28	5,9	11,9	11,6	10,9	9,0	7,6	10,8	12,6	23,9	20,2	15,0	8,7	2637	1278	867	0,0	0,0	0,0
29	6,2	12,5	12,2	11,5	9,7	7,9	10,9	12,8	26,6	22,8	17,5	10,6	2552	1299	897	0,0	0,0	0,0
30	6,5	13,1	12,8	12,1	10,4	8,2	11,1	12,9	29,3	25,5	20,0	12,7	2469	1315	921	0,0	0,0	0,0
31	6,8	13,7	13,3	12,7	11,0	8,5	11,3	13,1	32,1	28,3	22,7	14,9	2389	1326	942	0,0	0,0	0,0
32	7,1	14,2	13,8	13,2	11,6	8,8	11,5	13,3	35,0	31,2	25,5	17,3	2312	1334	959	0,0	0,0	0,0
33	7,4	14,7	14,3	13,7	12,2	9,1	11,7	13,4	37,9	34,1	28,3	19,9	2238	1338	972	0,0	0,0	0,0
34	7,7	15,2	14,7	14,2	12,7	9,4	11,8	13,6	40,9	37,1	31,3	22,5	2168	1338	983	0,0	0,0	0,0
35	8,0	15,6	15,2	14,7	13,2	9,7	12,0	13,7	44,0	40,2	34,2	25,2	2100	1336	991	0,0	0,0	0,0
36	8,3	16,0	15,6	15,1	13,7	10,0	12,2	13,9	47,0	43,3	37,2	28,0	2035	1332	996	0,0	0,0	0,0
37	8,6	16,4	16,0	15,5	14,2	10,3	12,4	14,1	50,1	46,4	40,3	30,9	1973	1326	999	0,0	0,0	0,0
38	8,8	16,8	16,4	15,9	14,6	10,6	12,6	14,2	53,3	49,5	43,4	33,7	1914	1317	1001	0,0	0,0	0,0

39	9,1	17,2	16,7	16,3	15,0	10,9	12,8	14,4	16,3	56,4	52,6	46,4	36,7	1857	1308	1001	717	1,4	1,3	1,2	0,9									
40	9,4	17,5	17,1	16,6	15,4	11,1	12,9	14,5	16,5	59,6	55,8	49,5	39,6	1803	1296	999	722	1,5	1,4	1,2	1,0									
41	9,7	17,9	17,4	16,9	15,7	11,4	13,1	14,7	16,6	62,9	59,0	52,6	42,5	1751	1284	996	726	1,5	1,4	1,3	1,0									
42	10,0	18,2	17,7	17,2	16,1	11,7	13,3	14,9	16,8	66,1	62,2	55,7	45,5	1701	1271	992	729	1,6	1,5	1,3	1,1									
43	10,3	18,5	18,0	17,5	16,4	11,9	13,5	15,0	16,9	69,3	65,4	58,8	48,4	1654	1257	987	731	1,6	1,5	1,4	1,1									
44	10,6	18,8	18,3	17,8	16,7	12,2	13,7	15,2	17,0	72,6	68,6	61,9	51,4	1609	1242	981	731	1,6	1,6	1,4	1,2									
45	10,8	19,0	18,5	18,1	17,0	12,4	13,9	15,4	17,2	75,8	71,8	65,0	54,3	1565	1227	974	731	1,7	1,6	1,4	1,2									
46	11,1	19,3	18,8	18,3	17,2	12,7	14,0	15,5	17,3	79,1	75,0	68,1	57,2	1524	1212	967	730	1,7	1,6	1,5	1,2									
47	11,4	19,5	19,0	18,6	17,5	12,9	14,2	15,7	17,5	82,3	78,1	71,1	60,1	1484	1196	959	728	1,8	1,7	1,5	1,3									
48	11,7	19,8	19,2	18,8	17,7	13,2	14,4	15,9	17,6	85,6	81,3	74,2	62,9	1446	1179	950	726	1,8	1,7	1,5	1,3									
49	11,9	20,0	19,4	19,0	18,0	13,4	14,6	16,0	17,8	88,8	84,5	77,2	65,8	1410	1163	941	723	1,8	1,7	1,6	1,3									
50	12,2	20,2	19,7	19,2	18,2	13,7	14,8	16,2	17,9	92,1	87,6	80,2	68,6	1375	1146	932	719	1,8	1,8	1,6	1,4									
51	12,5	20,4	19,9	19,4	18,4	13,9	15,0	16,4	18,1	95,3	90,8	83,2	71,4	1341	1130	922	715	1,9	1,8	1,6	1,4									
52	12,7	20,6	20,0	19,6	18,6	14,2	15,1	16,5	18,2	98,6	93,9	86,2	74,1	1309	1113	912	711	1,9	1,8	1,7	1,4									
53	13,0	20,8	20,2	19,8	18,7	14,4	15,3	16,7	18,4	101,8	97,1	89,1	76,9	1278	1097	902	706	1,9	1,8	1,7	1,5									
54	13,3	20,9	20,4	19,9	18,9	14,6	15,5	16,9	18,5	105,0	100,2	92,1	79,6	1248	1080	892	701	1,9	1,9	1,7	1,5									
55	13,5	21,1	20,5	20,1	19,1	14,8	15,7	17,0	18,7	108,2	103,2	95,0	82,3	1219	1063	882	696	2,0	1,9	1,7	1,5									
56	13,8	21,3	20,7	20,2	19,2	15,1	15,9	17,2	18,8	111,4	106,3	97,9	84,9	1192	1047	871	691	2,0	1,9	1,7	1,5									
57	14,0	21,4	20,8	20,4	19,4	15,3	16,0	17,4	19,0	114,5	109,4	100,7	87,5	1165	1031	861	685	2,0	1,9	1,8	1,5									
58	14,3	21,6	21,0	20,5	19,5	15,5	16,2	17,5	19,1	117,7	112,4	103,6	90,1	1140	1015	850	679	2,0	1,9	1,8	1,6									
59	14,5	21,7	21,1	20,6	19,6	15,7	16,4	17,7	19,3	120,8	115,4	106,4	92,7	1115	999	840	673	2,0	2,0	1,8	1,6									
60	14,8	21,8	21,2	20,8	19,8	16,0	16,6	17,9	19,4	123,9	118,4	109,2	95,2	1092	983	829	667	2,1	2,0	1,8	1,6									
61	15,0	22,0	21,4	20,9	19,9	16,2	16,8	18,0	19,6	127,0	121,4	112,0	97,8	1069	968	819	661	2,1	2,0	1,8	1,6									
62	15,3	22,1	21,5	21,0	20,0	16,4	16,9	18,2	19,7	130,1	124,4	114,8	100,3	1047	953	809	654	2,1	2,0	1,9	1,6									
63	15,5	22,2	21,6	21,1	20,1	16,6	17,1	18,3	19,9	133,2	127,3	117,5	102,7	1026	938	798	648	2,1	2,0	1,9	1,6									
64	15,8	22,3	21,7	21,2	20,2	16,8	17,3	18,5	20,0	136,2	130,2	120,3	105,2	1005	923	788	642	2,1	2,0	1,9	1,6									
65	16,0	22,4	21,8	21,3	20,3	17,0	17,5	18,7	20,2	139,2	133,1	123,0	107,6	986	908	778	635	2,1	2,0	1,9	1,7									
66	16,3	22,5	21,9	21,4	20,4	17,2	17,7	18,8	20,3	142,2	136,0	125,6	110,0	967	894	768	629	2,2	2,1	1,9	1,7									
67	16,5	22,6	22,0	21,5	20,5	17,4	17,8	19,0	20,5	145,2	138,9	128,3	112,4	948	880	758	622	2,2	2,1	1,9	1,7									
68	16,7	22,7	22,1	21,6	20,6	17,6	18,0	19,2	20,6	148,2	141,7	130,9	114,7	930	866	748	616	2,2	2,1	1,9	1,7									
69	17,0	22,7	22,1	21,6	20,6	17,8	18,2	19,3	20,8	151,1	144,5	133,5	117,1	913	853	738	609	2,2	2,1	1,9	1,7									
70	17,2	22,8	22,2	21,7	20,7	18,0	18,4	19,5	20,9	154,0	147,3	136,1	119,4	897	839	728	603	2,2	2,1	1,9	1,7									
Âge de la plantation (années)	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15									
Hauteur dominante (m)	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm								
	Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)						DHP (cm)						Volume sans écorce (m <sup>3</sup> /ha)						Nombre de tiges (/ha)						Accroissement annuel moyen en volume (m <sup>3</sup> /ha)					

Annexe 19. (suite et fin)

Annexe 20. Table de rendement pour les plantations d'épinette de Norvège avec un IQS<sub>25</sub> de 6 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement : 2 000 plants à l'hectare).

Âge de la plantation (années)	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)			DHP (cm)			Volume sans écorce (m <sup>3</sup> /ha)			Nombre de tiges (/ha)			Accroissement annuel moyen en volume (m <sup>3</sup> /ha)				
		> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	
8	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
9	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
10	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
11	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
12	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
13	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
14	2,4	1,1	0,5	0,2	0,1	3,0	.	.	0,8	0,3	0,1	0,0	1563	80	27	0,1	0,0	0,0
15	2,7	2,3	1,3	0,8	0,3	3,4	.	.	1,9	0,8	0,2	0,0	2432	215	81	0,1	0,1	0,0
16	3,0	3,4	2,4	1,5	0,7	3,9	.	.	3,2	1,5	0,4	0,1	2870	378	157	0,2	0,1	0,0
17	3,3	4,6	3,6	2,5	1,3	4,3	9,1	.	4,8	2,4	0,8	0,1	3075	546	247	0,3	0,1	0,0
18	3,6	5,7	4,8	3,5	2,0	4,8	9,3	.	6,7	3,7	1,4	0,3	3152	705	344	0,4	0,2	0,1
19	4,0	6,8	6,0	4,6	2,8	5,2	9,5	.	8,8	5,2	2,2	0,5	3156	846	439	0,5	0,3	0,1
20	4,3	7,8	7,2	5,8	3,7	5,7	9,7	.	11,1	7,0	3,4	0,9	3117	967	531	0,6	0,4	0,2
21	4,6	8,8	8,3	6,9	4,7	6,1	9,9	.	13,6	9,1	4,8	1,5	3055	1069	615	0,6	0,4	0,2
22	5,0	9,8	9,3	8,0	5,6	6,5	10,1	12,1	16,3	11,5	6,5	2,3	2980	1153	691	0,7	0,5	0,3
23	5,3	10,7	10,3	9,0	6,6	6,9	10,4	12,3	19,2	14,1	8,5	3,4	2898	1222	759	0,8	0,6	0,4
24	5,7	11,6	11,2	10,0	7,6	7,3	10,6	12,5	22,3	17,0	10,8	4,7	2813	1279	819	0,9	0,7	0,4
25	6,0	12,5	12,1	10,9	8,5	7,6	10,8	12,6	25,5	20,1	13,4	6,3	2727	1324	871	1,0	0,8	0,5
26	6,3	13,3	12,9	11,8	9,4	8,0	11,0	12,8	28,9	23,3	16,2	8,3	2642	1360	916	1,1	0,9	0,6
27	6,7	14,1	13,7	12,7	10,3	8,4	11,2	13,0	32,4	26,8	19,3	10,5	2560	1388	955	1,2	1,0	0,7
28	7,0	14,8	14,4	13,5	11,2	8,7	11,4	13,2	36,0	30,4	22,7	13,0	2479	1408	987	1,3	1,1	0,8
29	7,4	15,5	15,1	14,2	12,0	9,1	11,6	13,4	39,8	34,1	26,2	15,8	2401	1423	1015	1,4	1,2	0,9
30	7,7	16,2	15,7	14,9	12,8	9,4	11,8	13,5	43,6	38,0	29,8	18,9	2326	1433	1037	1,5	1,3	1,0
31	8,0	16,8	16,4	15,6	13,5	9,7	12,0	13,7	47,6	41,9	33,6	22,1	2254	1438	1055	1,5	1,4	1,1
32	8,3	17,4	16,9	16,2	14,3	10,1	12,2	13,9	51,6	46,0	37,6	25,5	2185	1439	1069	1,6	1,4	1,2
33	8,7	18,0	17,5	16,8	14,9	10,4	12,5	14,1	55,6	50,1	41,6	29,1	2119	1437	1080	1,7	1,5	1,3
34	9,0	18,5	18,0	17,4	15,6	10,7	12,7	14,3	59,8	54,2	45,7	32,9	2055	1432	1087	1,8	1,6	1,3
35	9,3	19,0	18,5	17,9	16,2	11,0	12,9	14,4	64,0	58,5	49,8	36,7	1994	1425	1092	1,8	1,7	1,4
36	9,7	19,5	19,0	18,4	16,7	11,3	13,1	14,6	68,2	62,7	54,0	40,6	1936	1416	1095	1,9	1,7	1,5
37	10,0	20,0	19,5	18,9	17,3	11,6	13,3	14,8	72,5	67,0	58,2	44,6	1880	1404	1095	2,0	1,8	1,6
38	10,3	20,5	19,9	19,3	17,8	11,9	13,5	15,0	76,8	71,3	62,5	48,6	1827	1392	1093	2,0	1,9	1,6

39	10,6	20,9	20,3	19,8	18,2	12,2	13,7	15,2	17,0	81,1	75,6	66,7	52,7	1776	1378	1090	802	2,1	1,9	1,7	1,4									
40	10,9	21,3	20,7	20,2	18,7	12,5	13,9	15,4	17,2	85,4	79,9	70,9	56,7	1727	1362	1086	807	2,1	2,0	1,8	1,4									
41	11,2	21,7	21,1	20,5	19,1	12,8	14,1	15,6	17,3	89,8	84,3	75,2	60,8	1680	1346	1080	809	2,2	2,1	1,8	1,5									
42	11,6	22,0	21,4	20,9	19,5	13,1	14,3	15,7	17,5	94,2	88,6	79,4	64,8	1636	1330	1073	811	2,2	2,1	1,9	1,5									
43	11,9	22,4	21,8	21,2	19,9	13,4	14,5	15,9	17,7	98,5	92,9	83,6	68,9	1593	1312	1065	811	2,3	2,2	1,9	1,6									
44	12,2	22,7	22,1	21,6	20,2	13,6	14,7	16,1	17,8	102,9	97,2	87,8	72,9	1552	1295	1056	810	2,3	2,2	2,0	1,7									
45	12,5	23,0	22,4	21,9	20,5	13,9	14,9	16,3	18,0	107,3	101,5	92,0	76,8	1512	1276	1047	808	2,4	2,3	2,0	1,7									
46	12,8	23,3	22,7	22,1	20,8	14,2	15,2	16,5	18,2	111,7	105,8	96,1	80,8	1475	1258	1037	805	2,4	2,3	2,1	1,8									
47	13,1	23,6	23,0	22,4	21,1	14,5	15,4	16,7	18,3	116,0	110,1	100,2	84,7	1438	1239	1027	802	2,5	2,3	2,1	1,8									
48	13,4	23,9	23,2	22,7	21,4	14,7	15,6	16,9	18,5	120,4	114,4	104,3	88,5	1404	1221	1016	798	2,5	2,4	2,2	1,8									
49	13,7	24,1	23,5	22,9	21,7	15,0	15,8	17,0	18,7	124,7	118,6	108,4	92,3	1370	1202	1005	793	2,5	2,4	2,2	1,9									
50	14,0	24,4	23,7	23,2	21,9	15,2	16,0	17,2	18,8	129,0	122,8	112,4	96,1	1338	1183	993	788	2,6	2,5	2,2	1,9									
51	14,2	24,6	23,9	23,4	22,2	15,5	16,2	17,4	19,0	133,4	127,0	116,4	99,9	1307	1165	982	783	2,6	2,5	2,3	2,0									
52	14,5	24,8	24,2	23,6	22,4	15,7	16,4	17,6	19,2	137,6	131,2	120,4	103,5	1278	1146	970	777	2,6	2,5	2,3	2,0									
53	14,8	25,0	24,4	23,8	22,6	16,0	16,6	17,8	19,3	141,9	135,3	124,3	107,2	1249	1128	958	771	2,7	2,6	2,3	2,0									
54	15,1	25,2	24,6	24,0	22,8	16,2	16,8	18,0	19,5	146,2	139,4	128,2	110,8	1222	1109	946	764	2,7	2,6	2,4	2,1									
55	15,4	25,4	24,7	24,2	23,0	16,5	17,0	18,2	19,7	150,4	143,5	132,0	114,3	1196	1091	934	758	2,7	2,6	2,4	2,1									
56	15,7	25,6	24,9	24,4	23,2	16,7	17,2	18,3	19,8	154,6	147,6	135,9	117,9	1170	1074	922	751	2,8	2,6	2,4	2,1									
57	15,9	25,8	25,1	24,5	23,3	16,9	17,4	18,5	20,0	158,8	151,6	139,6	121,3	1146	1056	910	744	2,8	2,7	2,4	2,1									
58	16,2	26,0	25,3	24,7	23,5	17,2	17,6	18,7	20,1	162,9	155,6	143,4	124,8	1122	1039	898	737	2,8	2,7	2,5	2,2									
59	16,5	26,1	25,4	24,8	23,6	17,4	17,8	18,9	20,3	167,0	159,6	147,1	128,2	1099	1022	886	729	2,8	2,7	2,5	2,2									
60	16,7	26,3	25,6	25,0	23,8	17,6	18,0	19,1	20,5	171,1	163,5	150,8	131,5	1077	1005	874	722	2,9	2,7	2,5	2,2									
61	17,0	26,4	25,7	25,1	23,9	17,8	18,2	19,3	20,6	175,2	167,4	154,5	134,8	1056	988	862	714	2,9	2,7	2,5	2,2									
62	17,3	26,5	25,8	25,2	24,0	18,1	18,4	19,4	20,8	179,2	171,3	158,1	138,1	1036	972	850	707	2,9	2,8	2,5	2,2									
63	17,5	26,7	26,0	25,4	24,2	18,3	18,6	19,6	21,0	183,2	175,2	161,7	141,3	1016	956	839	700	2,9	2,8	2,6	2,2									
64	17,8	26,8	26,1	25,5	24,3	18,5	18,8	19,8	21,1	187,2	179,0	165,2	144,5	997	941	827	692	2,9	2,8	2,6	2,3									
65	18,1	26,9	26,2	25,6	24,4	18,7	19,0	20,0	21,3	191,1	182,8	168,8	147,7	979	925	816	684	2,9	2,8	2,6	2,3									
66	18,3	27,0	26,3	25,7	24,5	18,9	19,2	20,2	21,5	195,0	186,5	172,3	150,8	961	910	805	677	3,0	2,8	2,6	2,3									
67	18,6	27,1	26,4	25,8	24,6	19,1	19,4	20,3	21,6	198,9	190,2	175,7	153,9	943	896	794	669	3,0	2,8	2,6	2,3									
68	18,8	27,2	26,5	25,9	24,7	19,3	19,6	20,5	21,8	202,7	193,9	179,2	157,0	927	881	783	662	3,0	2,9	2,6	2,3									
69	19,1	27,3	26,6	26,0	24,8	19,5	19,8	20,7	22,0	206,5	197,6	182,5	160,0	911	867	772	655	3,0	2,9	2,6	2,3									
70	19,3	27,4	26,7	26,1	24,9	19,7	19,9	20,9	22,1	210,3	201,2	185,9	163,0	895	853	761	647	3,0	2,9	2,7	2,3									
Âge de la plantation (années)	> 0	> 9	> 12	> 15	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15									
Hauteur dominante (m)	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm								
	Surface terrière (m²/ha)						DHP (cm)						Volume sans écorce (m³/ha)						Nombre de tiges (/ha)						Accroissement annuel moyen en volume (m³/ha)					

Annexe 20. (suite et fin)

Annexe 21. Table de rendement pour les plantations d'épinette de Norvège avec un IQS<sub>25</sub> de 7 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement : 2 000 plants à l'hectare).

Âge de la plantation (années)	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)			DHP (cm)			Volume sans écorce (m <sup>3</sup> /ha)			Nombre de tiges (/ha)			Accroissement annuel moyen en volume (m <sup>3</sup> /ha)				
		> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	
8	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
9	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
10	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
11	1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
12	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
13	2,5	0,7	0,2	0,1	0,0	3,0	.	.	0,6	0,2	0,0	0,0	1062	34	10	2	0,0	0,0
14	2,9	2,1	0,9	0,5	0,2	3,5	.	.	1,9	0,7	0,1	0,0	2141	143	48	13	0,1	0,0
15	3,2	3,4	1,9	1,1	0,5	4,0	.	.	3,5	1,4	0,3	0,0	2669	303	115	34	0,2	0,1
16	3,6	4,7	3,2	2,1	1,0	4,5	9,2	.	5,5	2,5	0,7	0,1	2916	486	205	68	0,3	0,2
17	4,0	6,0	4,7	3,2	1,7	5,0	9,4	.	7,8	3,9	1,3	0,2	3012	668	309	112	0,5	0,2
18	4,4	7,3	6,1	4,5	2,6	5,5	9,7	.	10,4	5,7	2,2	0,4	3026	834	415	164	0,6	0,3
19	4,7	8,5	7,5	5,8	3,5	6,0	9,9	.	13,3	7,9	3,4	0,8	2995	977	520	221	0,7	0,4
20	5,1	9,7	8,9	7,1	4,6	6,5	10,1	12,1	16,5	10,5	5,0	1,4	2938	1098	617	280	0,8	0,5
21	5,5	10,8	10,1	8,4	5,7	6,9	10,4	12,3	20,0	13,5	7,0	2,2	2868	1196	706	340	1,0	0,6
22	5,9	11,9	11,3	9,7	6,8	7,4	10,6	12,5	23,8	16,8	9,4	3,4	2792	1276	785	398	1,1	0,8
23	6,2	13,0	12,4	10,9	8,0	7,8	10,9	12,7	27,7	20,4	12,2	4,9	2712	1340	854	454	1,2	0,9
24	6,6	14,0	13,5	12,0	9,1	8,2	11,1	12,9	31,9	24,3	15,5	6,7	2632	1390	915	507	1,3	1,0
25	7,0	15,0	14,5	13,1	10,2	8,6	11,4	13,1	36,3	28,6	19,0	9,0	2553	1429	966	556	1,5	1,1
26	7,4	15,9	15,4	14,1	11,3	9,0	11,6	13,3	40,9	33,0	23,0	11,7	2476	1458	1010	602	1,6	1,3
27	7,7	16,8	16,3	15,1	12,3	9,4	11,8	13,5	45,6	37,7	27,2	14,8	2401	1479	1047	643	1,7	1,4
28	8,1	17,6	17,1	16,0	13,3	9,8	12,1	13,7	50,4	42,5	31,7	18,2	2329	1493	1078	680	1,8	1,5
29	8,5	18,4	17,9	16,8	14,2	10,2	12,3	13,9	55,4	47,5	36,4	22,0	2259	1502	1103	713	1,9	1,6
30	8,9	19,1	18,6	17,6	15,1	10,5	12,5	14,1	60,5	52,7	41,4	26,2	2192	1506	1123	743	2,0	1,8
31	9,2	19,8	19,3	18,4	16,0	10,9	12,8	14,4	65,7	57,9	46,5	30,5	2128	1506	1138	768	2,1	1,9
32	9,6	20,5	20,0	19,1	16,8	11,2	13,0	14,6	71,0	63,3	51,7	35,2	2066	1502	1149	791	2,2	2,0
33	9,9	21,2	20,6	19,8	17,6	11,6	13,2	14,8	76,3	68,7	57,0	40,0	2007	1495	1157	809	2,3	2,1
34	10,3	21,8	21,2	20,4	18,3	11,9	13,5	15,0	81,7	74,2	62,4	44,9	1950	1485	1162	825	2,4	2,2
35	10,7	22,4	21,8	21,0	19,0	12,3	13,7	15,2	87,2	79,7	67,9	50,0	1895	1474	1164	839	2,5	2,3
36	11,0	22,9	22,3	21,6	19,6	12,6	14,0	15,4	92,7	85,3	73,4	55,2	1843	1460	1163	849	2,6	2,4
37	11,4	23,5	22,8	22,1	20,2	12,9	14,2	15,6	98,3	90,8	78,9	60,5	1793	1446	1161	858	2,7	2,5
38	11,7	24,0	23,3	22,7	20,8	13,2	14,4	15,8	103,8	96,4	84,5	65,8	1745	1429	1157	864	2,7	2,5

39	12,0	24,5	23,8	23,1	21,3	13,5	14,6	16,0	17,7	109,4	102,0	90,0	71,1	1699	1412	1151	868	2,8	2,6	2,3	1,8									
40	12,4	24,9	24,2	23,6	21,9	13,8	14,9	16,2	17,9	115,0	107,6	95,5	76,4	1655	1394	1144	871	2,9	2,7	2,4	1,9									
41	12,7	25,3	24,7	24,0	22,3	14,1	15,1	16,4	18,1	120,6	113,2	101,0	81,7	1613	1375	1136	872	2,9	2,8	2,5	2,0									
42	13,1	25,8	25,1	24,4	22,8	14,4	15,3	16,6	18,2	126,2	118,8	106,5	86,9	1572	1356	1126	872	3,0	2,8	2,5	2,1									
43	13,4	26,1	25,4	24,8	23,2	14,7	15,6	16,8	18,4	131,9	124,4	111,9	92,2	1533	1336	1116	871	3,1	2,9	2,6	2,1									
44	13,7	26,5	25,8	25,2	23,6	15,0	15,8	17,0	18,6	137,5	129,9	117,3	97,3	1496	1316	1105	869	3,1	3,0	2,7	2,2									
45	14,0	26,9	26,2	25,5	24,0	15,3	16,0	17,2	18,8	143,1	135,4	122,7	102,5	1460	1296	1094	866	3,2	3,0	2,7	2,3									
46	14,4	27,2	26,5	25,9	24,3	15,6	16,3	17,4	19,0	148,6	140,9	128,0	107,5	1426	1276	1082	862	3,2	3,1	2,8	2,3									
47	14,7	27,5	26,8	26,2	24,7	15,9	16,5	17,6	19,1	154,2	146,4	133,2	112,5	1393	1255	1070	857	3,3	3,1	2,8	2,4									
48	15,0	27,8	27,1	26,5	25,0	16,1	16,7	17,9	19,3	159,7	151,8	138,4	117,5	1361	1235	1057	851	3,3	3,2	2,9	2,4									
49	15,3	28,1	27,4	26,7	25,3	16,4	16,9	18,1	19,5	165,2	157,2	143,6	122,4	1330	1215	1044	845	3,4	3,2	2,9	2,5									
50	15,6	28,4	27,6	27,0	25,6	16,7	17,2	18,3	19,7	170,7	162,5	148,7	127,2	1301	1195	1031	839	3,4	3,3	3,0	2,5									
51	15,9	28,7	27,9	27,3	25,8	16,9	17,4	18,5	19,9	176,2	167,8	153,8	131,9	1273	1175	1018	832	3,5	3,3	3,0	2,6									
52	16,2	28,9	28,1	27,5	26,1	17,2	17,6	18,7	20,1	181,6	173,1	158,8	136,6	1246	1155	1005	825	3,5	3,3	3,1	2,6									
53	16,5	29,2	28,4	27,7	26,3	17,4	17,8	18,9	20,2	187,0	178,3	163,8	141,2	1219	1136	991	818	3,5	3,4	3,1	2,7									
54	16,8	29,4	28,6	28,0	26,5	17,7	18,1	19,1	20,4	192,4	183,5	168,7	145,8	1194	1117	978	810	3,6	3,4	3,1	2,7									
55	17,1	29,6	28,8	28,2	26,8	18,0	18,3	19,3	20,6	197,7	188,7	173,5	150,3	1170	1098	965	802	3,6	3,4	3,2	2,7									
56	17,4	29,8	29,0	28,4	27,0	18,2	18,5	19,5	20,8	203,0	193,8	178,4	154,7	1146	1079	952	794	3,6	3,5	3,2	2,8									
57	17,7	30,0	29,2	28,5	27,1	18,4	18,7	19,7	21,0	208,2	198,8	183,1	159,1	1124	1061	938	786	3,7	3,5	3,2	2,8									
58	18,0	30,2	29,4	28,7	27,3	18,7	18,9	19,9	21,2	213,4	203,8	187,8	163,4	1102	1043	925	778	3,7	3,5	3,2	2,8									
59	18,3	30,4	29,6	28,9	27,5	18,9	19,2	20,1	21,3	218,6	208,8	192,5	167,7	1081	1026	912	769	3,7	3,5	3,3	2,8									
60	18,6	30,5	29,7	29,1	27,7	19,2	19,4	20,3	21,5	223,7	213,8	197,1	171,9	1060	1008	899	761	3,7	3,6	3,3	2,9									
61	18,9	30,7	29,9	29,2	27,8	19,4	19,6	20,5	21,7	228,8	218,6	201,7	176,1	1040	991	887	753	3,8	3,6	3,3	2,9									
62	19,2	30,9	30,0	29,4	28,0	19,6	19,8	20,7	21,9	233,8	223,5	206,2	180,2	1021	975	874	744	3,8	3,6	3,3	2,9									
63	19,4	31,0	30,2	29,5	28,1	19,8	20,0	20,9	22,1	238,8	228,3	210,7	184,2	1003	958	862	736	3,8	3,6	3,3	2,9									
64	19,7	31,1	30,3	29,6	28,2	20,1	20,2	21,1	22,2	243,7	233,0	215,2	188,2	985	943	850	728	3,8	3,6	3,4	2,9									
65	20,0	31,3	30,4	29,8	28,4	20,3	20,4	21,3	22,4	248,6	237,7	219,6	192,1	968	927	838	719	3,8	3,7	3,4	3,0									
66	20,3	31,4	30,6	29,9	28,5	20,5	20,7	21,5	22,6	253,5	242,4	223,9	196,0	951	912	826	711	3,8	3,7	3,4	3,0									
67	20,5	31,5	30,7	30,0	28,6	20,7	20,9	21,7	22,8	258,3	247,0	228,2	199,9	935	897	814	703	3,9	3,7	3,4	3,0									
68	20,8	31,6	30,8	30,1	28,7	20,9	21,1	21,9	22,9	263,1	251,6	232,5	203,7	919	882	802	694	3,9	3,7	3,4	3,0									
69	21,0	31,7	30,9	30,2	28,8	21,1	21,3	22,0	23,1	267,8	256,1	236,7	207,5	904	868	791	686	3,9	3,7	3,4	3,0									
70	21,3	31,9	31,0	30,3	28,9	21,4	21,5	22,2	23,3	272,5	260,6	240,8	211,2	889	854	780	678	3,9	3,7	3,4	3,0									
Âge de la plantation (années)	> 0	> 9	> 12	> 15	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15									
Hauteur dominante (m)	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm								
	Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)						DHP (cm)						Volume sans écorce (m <sup>3</sup> /ha)						Nombre de tiges (/ha)						Accroissement annuel moyen en volume (m <sup>3</sup> /ha)					

Annexe 21. (suite et fin)

Annexe 22. Table de rendement pour les plantations d'épinette de Norvège avec un IQ<sub>25</sub> de 8 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement : 2 000 plants à l'hectare).

Âge de la plantation (années)	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)			DHP (cm)			Volume sans écorce (m <sup>3</sup> /ha)			Nombre de tiges (/ha)			Accroissement annuel moyen en volume (m <sup>3</sup> /ha)		
		> 0 cm	> 9 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 15 cm
8	1,2	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
9	1,5	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
10	1,9	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
11	2,2	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
12	2,6	0,1	0,0	0,0	2,9	.	.	0,1	0,0	0,0	151	2	1	0,0	0,0	0,0
13	3,0	1,5	0,4	0,2	3,4	.	.	1,5	0,4	0,1	1650	67	20	0,1	0,0	0,0
14	3,4	3,0	1,2	0,7	4,0	.	.	3,3	1,1	0,2	2366	198	68	0,2	0,1	0,0
15	3,8	4,5	2,5	1,5	4,6	9,2	.	5,6	2,2	0,5	2701	378	146	0,4	0,1	0,0
16	4,2	5,9	4,1	2,6	5,2	9,5	.	8,3	3,8	1,1	2841	576	248	0,5	0,2	0,1
17	4,7	7,4	5,7	4,0	5,7	9,8	.	11,4	5,7	1,9	2879	767	361	0,7	0,3	0,1
18	5,1	8,8	7,4	5,4	6,3	10,0	12,1	14,9	8,2	3,2	2862	936	476	0,8	0,5	0,2
19	5,5	10,2	9,0	7,0	6,8	10,3	12,3	18,9	11,2	4,8	1080	1080	587	1,0	0,6	0,3
20	5,9	11,5	10,5	8,5	7,3	10,6	12,5	23,1	14,7	7,0	1197	1197	688	1,2	0,7	0,4
21	6,3	12,8	12,0	9,9	7,8	10,9	12,7	27,7	18,6	9,7	1291	1291	780	1,3	0,9	0,5
22	6,8	14,0	13,3	11,4	8,3	11,1	13,0	32,6	23,0	12,9	1365	1365	860	1,5	1,0	0,6
23	7,2	15,2	14,5	12,7	8,7	11,4	13,2	37,8	27,8	16,7	1422	1422	929	1,6	1,2	0,7
24	7,6	16,3	15,7	14,0	9,2	11,7	13,4	43,3	33,0	20,9	1465	1465	989	1,8	1,4	0,9
25	8,0	17,4	16,8	15,2	9,6	11,9	13,6	48,9	38,5	25,7	1498	1498	1040	2,0	1,5	1,0
26	8,4	18,4	17,8	16,3	10,0	12,2	13,9	54,8	44,3	30,8	1521	1521	1082	2,1	1,7	1,2
27	8,8	19,4	18,8	17,4	10,4	12,5	14,1	60,9	50,3	36,3	1536	1536	1117	2,3	1,9	1,3
28	9,2	20,3	19,7	18,4	10,9	12,7	14,3	67,1	56,5	42,1	1545	1545	1145	2,4	2,0	1,5
29	9,6	21,2	20,6	19,4	11,2	13,0	14,5	73,4	63,0	48,3	1548	1548	1167	2,5	2,2	1,7
30	10,0	22,0	21,4	20,3	11,6	13,3	14,8	79,9	69,6	54,6	1547	1547	1184	2,7	2,3	1,8
31	10,4	22,8	22,2	21,2	12,0	13,5	15,0	86,5	76,2	61,2	1542	1542	1197	2,8	2,5	2,0
32	10,8	23,6	22,9	22,0	12,4	13,8	15,2	93,1	83,0	67,8	1534	1534	1206	2,9	2,6	2,1
33	11,2	24,3	23,6	22,7	12,7	14,1	15,5	99,9	89,9	74,6	1523	1523	1211	3,0	2,7	2,3
34	11,6	25,0	24,3	23,4	13,1	14,3	15,7	106,7	96,8	81,5	1510	1510	1213	3,1	2,8	2,4
35	12,0	25,6	24,9	24,1	13,4	14,6	15,9	113,6	103,8	88,4	1495	1495	1212	3,2	3,0	2,5
36	12,3	26,2	25,5	24,7	13,8	14,8	16,1	120,5	110,8	95,4	1479	1479	1210	3,3	3,1	2,6
37	12,7	26,8	26,1	25,3	14,1	15,1	16,4	127,4	117,8	102,4	1461	1461	1205	3,4	3,2	2,8
38	13,1	27,4	26,7	25,9	14,5	15,3	16,6	134,3	124,8	109,3	1442	1442	1198	3,5	3,3	2,9

39	13,4	27,9	27,2	26,4	24,4	14,8	15,6	16,8	18,4	141,3	131,8	116,2	91,8	1629	1423	1190	918	3,6	3,4	3,0	2,4
40	13,8	28,4	27,7	26,9	24,9	15,1	15,9	17,0	18,6	148,3	138,8	123,1	98,5	1589	1402	1181	920	3,7	3,5	3,1	2,5
41	14,2	28,9	28,1	27,4	25,5	15,4	16,1	17,3	18,8	155,2	145,7	130,0	105,1	1550	1382	1171	920	3,8	3,6	3,2	2,6
42	14,5	29,4	28,6	27,9	26,0	15,7	16,4	17,5	19,0	162,2	152,6	136,8	111,7	1514	1361	1160	919	3,9	3,6	3,3	2,7
43	14,9	29,8	29,0	28,3	26,5	16,0	16,6	17,7	19,2	169,1	159,5	143,5	118,2	1478	1339	1148	916	3,9	3,7	3,3	2,7
44	15,2	30,2	29,4	28,7	26,9	16,3	16,9	17,9	19,4	176,0	166,3	150,2	124,6	1444	1318	1135	913	4,0	3,8	3,4	2,8
45	15,6	30,6	29,8	29,1	27,3	16,6	17,1	18,2	19,6	182,9	173,2	156,8	131,0	1412	1297	1122	908	4,1	3,8	3,5	2,9
46	15,9	31,0	30,2	29,5	27,7	16,9	17,4	18,4	19,8	189,8	179,9	163,4	137,3	1380	1275	1109	903	4,1	3,9	3,6	3,0
47	16,3	31,4	30,5	29,8	28,1	17,2	17,6	18,6	20,0	196,6	186,6	169,9	143,5	1350	1254	1095	897	4,2	4,0	3,6	3,1
48	16,6	31,7	30,8	30,1	28,4	17,5	17,9	18,8	20,2	203,4	193,3	176,3	149,6	1321	1233	1081	890	4,2	4,0	3,7	3,1
49	16,9	32,0	31,2	30,4	28,8	17,8	18,1	19,1	20,4	210,2	199,9	182,6	155,6	1293	1212	1067	883	4,3	4,1	3,7	3,2
50	17,2	32,3	31,5	30,7	29,1	18,0	18,3	19,3	20,6	216,9	206,4	188,9	161,6	1266	1191	1053	876	4,3	4,1	3,8	3,2
51	17,6	32,6	31,8	31,0	29,4	18,3	18,6	19,5	20,8	223,5	212,9	195,1	167,4	1240	1170	1038	868	4,4	4,2	3,8	3,3
52	17,9	32,9	32,0	31,3	29,7	18,6	18,8	19,7	21,0	230,2	219,4	201,3	173,1	1214	1150	1024	860	4,4	4,2	3,9	3,3
53	18,2	33,2	32,3	31,6	29,9	18,8	19,1	19,9	21,2	236,7	225,7	207,3	178,8	1190	1130	1010	851	4,5	4,3	3,9	3,4
54	18,5	33,4	32,5	31,8	30,2	19,1	19,3	20,2	21,4	243,3	232,1	213,3	184,4	1167	1111	996	843	4,5	4,3	4,0	3,4
55	18,8	33,7	32,8	32,0	30,4	19,4	19,6	20,4	21,6	249,7	238,3	219,2	189,9	1144	1091	981	834	4,5	4,3	4,0	3,5
56	19,2	33,9	33,0	32,2	30,7	19,6	19,8	20,6	21,8	256,1	244,5	225,1	195,3	1122	1073	967	825	4,6	4,4	4,0	3,5
57	19,5	34,1	33,2	32,5	30,9	19,9	20,0	20,8	21,9	262,5	250,7	230,9	200,6	1101	1054	953	816	4,6	4,4	4,1	3,5
58	19,8	34,3	33,4	32,7	31,1	20,1	20,3	21,0	22,1	268,8	256,8	236,6	205,9	1081	1036	940	807	4,6	4,4	4,1	3,5
59	20,1	34,5	33,6	32,8	31,3	20,4	20,5	21,3	22,3	275,1	262,8	242,3	211,0	1061	1018	926	798	4,7	4,5	4,1	3,6
60	20,4	34,7	33,8	33,0	31,4	20,6	20,7	21,5	22,5	281,3	268,8	247,9	216,1	1042	1001	913	789	4,7	4,5	4,1	3,6
61	20,7	34,9	34,0	33,2	31,6	20,8	21,0	21,7	22,7	287,4	274,7	253,4	221,2	1024	984	899	779	4,7	4,5	4,2	3,6
62	20,9	35,1	34,1	33,4	31,8	21,1	21,2	21,9	22,9	293,5	280,5	258,9	226,1	1006	967	886	770	4,7	4,5	4,2	3,6
63	21,2	35,2	34,3	33,5	31,9	21,3	21,4	22,1	23,1	299,5	286,3	264,3	231,0	989	950	873	761	4,8	4,5	4,2	3,7
64	21,5	35,4	34,4	33,7	32,1	21,5	21,7	22,3	23,3	305,4	292,1	269,7	235,9	972	934	861	752	4,8	4,6	4,2	3,7
65	21,8	35,5	34,6	33,8	32,2	21,8	21,9	22,5	23,5	311,4	297,7	274,9	240,6	956	919	848	743	4,8	4,6	4,2	3,7
66	22,1	35,7	34,7	33,9	32,4	22,0	22,1	22,7	23,7	317,2	303,3	280,2	245,3	940	904	836	734	4,8	4,6	4,2	3,7
67	22,4	35,8	34,8	34,1	32,5	22,2	22,3	22,9	23,9	323,0	308,9	285,4	250,0	925	889	824	725	4,8	4,6	4,3	3,7
68	22,6	35,9	35,0	34,2	32,6	22,4	22,6	23,2	24,1	328,7	314,4	290,5	254,5	910	874	812	717	4,8	4,6	4,3	3,7
69	22,9	36,1	35,1	34,3	32,7	22,6	22,8	23,4	24,3	334,4	319,8	295,5	259,1	896	860	800	708	4,8	4,6	4,3	3,8
70	23,2	36,2	35,2	34,4	32,8	22,9	23,0	23,6	24,4	340,0	325,2	300,5	263,5	882	846	789	699	4,9	4,6	4,3	3,8
Âge de la plantation (années)	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	
Hauteur dominante (m)	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
DHP (cm)	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
Volume sans écorce (m <sup>3</sup> /ha)	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
Nombre de tiges (/ha)	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
Accroissement annuel moyen en volume (m <sup>3</sup> /ha)	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm

Annexe 22. (suite et fin)

Annexe 23. Table de rendement pour les plantations d'épinette de Norvège avec un IQS<sub>25</sub> de 9 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement : 2 000 plants à l'hectare).

Âge de la plantation (années)	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)			DHP (cm)			Volume sans écorce (m <sup>3</sup> /ha)			Nombre de tiges (/ha)			Accroissement annuel moyen en volume (m <sup>3</sup> /ha)						
		> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm			
8	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0		
9	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0		
10	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0		
11	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0		
12	3,1	0,7	0,1	0,0	0,0	3,3	.	.	0,7	0,2	0,0	0,0	869	15	4	1	0,1	0,0	0,0	
13	3,5	2,3	0,6	0,3	0,1	3,9	.	.	2,7	0,8	0,1	0,0	1930	96	29	7	0,2	0,1	0,0	0,0
14	4,0	3,9	1,6	0,9	0,3	4,5	9,2	.	5,1	1,8	0,3	0,0	2423	245	85	23	0,4	0,1	0,0	0,0
15	4,4	5,5	3,1	1,8	0,8	5,2	9,5	.	8,1	3,3	0,8	0,1	2641	441	173	52	0,5	0,2	0,1	0,0
16	4,9	7,1	4,9	3,2	1,5	5,8	9,8	.	11,7	5,3	1,5	0,2	2719	649	284	96	0,7	0,3	0,1	0,0
17	5,4	8,7	6,8	4,7	2,5	6,4	10,1	12,2	15,8	7,9	2,7	0,4	2725	846	405	151	0,9	0,5	0,2	0,0
18	5,8	10,3	8,7	6,4	3,6	7,0	10,4	12,4	20,4	11,2	4,3	0,8	2693	1016	527	213	1,1	0,6	0,2	0,0
19	6,3	11,8	10,5	8,1	4,9	7,5	10,7	12,7	25,4	15,1	6,5	1,5	2642	1157	642	281	1,3	0,8	0,3	0,1
20	6,7	13,2	12,1	9,8	6,3	8,1	11,0	12,9	30,9	19,6	9,4	2,6	2581	1270	746	349	1,5	1,0	0,5	0,1
21	7,2	14,6	13,7	11,4	7,7	8,6	11,3	13,2	36,7	24,7	12,9	4,0	2515	1358	839	417	1,7	1,2	0,6	0,2
22	7,7	16,0	15,2	13,0	9,2	9,1	11,6	13,4	42,9	30,3	17,0	6,1	2448	1426	919	483	2,0	1,4	0,8	0,3
23	8,1	17,3	16,6	14,5	10,6	9,6	11,9	13,7	49,5	36,4	21,8	8,7	2381	1476	988	544	2,2	1,6	0,9	0,4
24	8,6	18,5	17,8	15,9	12,0	10,1	12,3	13,9	56,3	42,9	27,2	11,9	2315	1514	1046	602	2,3	1,8	1,1	0,5
25	9,0	19,7	19,0	17,2	13,4	10,6	12,5	14,2	63,4	49,9	33,2	15,7	2251	1540	1095	655	2,5	2,0	1,3	0,6
26	9,4	20,8	20,2	18,5	14,8	11,0	12,8	14,4	70,7	57,1	39,7	20,3	2189	1557	1135	703	2,7	2,2	1,5	0,8
27	9,9	21,9	21,3	19,7	16,1	11,4	13,1	14,7	78,2	64,7	46,7	25,4	2129	1567	1167	746	2,9	2,4	1,7	0,9
28	10,3	22,9	22,3	20,8	17,3	11,9	13,4	14,9	85,9	72,4	54,0	31,1	2072	1571	1193	784	3,1	2,6	1,9	1,1
29	10,7	23,9	23,2	21,9	18,5	12,3	13,7	15,2	93,8	80,4	61,6	37,3	2016	1570	1212	817	3,2	2,8	2,1	1,3
30	11,2	24,8	24,1	22,9	19,6	12,7	14,0	15,4	101,7	88,6	69,6	44,0	1963	1564	1227	846	3,4	3,0	2,3	1,5
31	11,6	25,7	25,0	23,8	20,7	13,1	14,3	15,7	109,8	96,8	77,7	51,1	1911	1556	1237	871	3,5	3,1	2,5	1,6
32	12,0	26,5	25,8	24,7	21,7	13,5	14,6	15,9	118,0	105,2	86,0	58,5	1862	1544	1243	892	3,7	3,3	2,7	1,8
33	12,4	27,3	26,6	25,5	22,7	13,8	14,9	16,2	126,3	113,7	94,3	66,1	1814	1530	1246	910	3,8	3,4	2,9	2,0
34	12,8	28,1	27,3	26,3	23,6	14,2	15,2	16,4	134,6	122,1	102,8	74,0	1769	1514	1246	924	4,0	3,6	3,0	2,2
35	13,2	28,8	28,0	27,1	24,4	14,6	15,4	16,6	143,0	130,7	111,3	82,0	1725	1497	1243	935	4,1	3,7	3,2	2,3
36	13,6	29,5	28,7	27,8	25,2	14,9	15,7	16,9	151,3	139,2	119,8	90,2	1682	1478	1238	944	4,2	3,9	3,3	2,5
37	14,0	30,1	29,3	28,4	26,0	15,3	16,0	17,1	159,8	147,7	128,4	98,3	1642	1459	1231	950	4,3	4,0	3,5	2,7
38	14,4	30,7	29,9	29,0	26,7	15,6	16,3	17,4	168,2	156,2	136,8	106,5	1602	1438	1223	954	4,4	4,1	3,6	2,8

39	14,8	31,3	30,5	29,6	27,3	16,0	16,6	17,6	19,1	176,6	164,7	145,3	114,7	1565	1417	1213	956	4,5	4,2	3,7	2,9				
40	15,2	31,9	31,0	30,2	28,0	16,3	16,8	17,9	19,3	185,0	173,1	153,7	122,9	1529	1395	1202	956	4,6	4,3	3,8	3,1				
41	15,6	32,4	31,5	30,7	28,6	16,6	17,1	18,1	19,5	193,4	181,5	162,0	130,9	1494	1373	1191	955	4,7	4,4	4,0	3,2				
42	16,0	32,9	32,0	31,2	29,1	16,9	17,4	18,4	19,7	201,8	189,9	170,2	138,9	1460	1351	1178	953	4,8	4,5	4,1	3,3				
43	16,3	33,4	32,5	31,7	29,6	17,3	17,6	18,6	19,9	210,1	198,2	178,3	146,8	1428	1329	1165	949	4,9	4,6	4,1	3,4				
44	16,7	33,9	32,9	32,1	30,1	17,6	17,9	18,9	20,2	218,4	206,4	186,4	154,7	1397	1307	1151	944	5,0	4,7	4,2	3,5				
45	17,1	34,3	33,4	32,6	30,6	17,9	18,2	19,1	20,4	226,7	214,6	194,4	162,4	1367	1285	1137	939	5,0	4,8	4,3	3,6				
46	17,4	34,7	33,8	33,0	31,0	18,2	18,5	19,3	20,6	234,9	222,7	202,2	169,9	1338	1263	1122	932	5,1	4,8	4,4	3,7				
47	17,8	35,1	34,2	33,3	31,4	18,5	18,7	19,6	20,8	243,1	230,7	210,0	177,4	1310	1241	1107	925	5,2	4,9	4,5	3,8				
48	18,1	35,5	34,5	33,7	31,8	18,8	19,0	19,8	21,0	251,2	238,7	217,7	184,7	1283	1219	1093	918	5,2	5,0	4,5	3,8				
49	18,5	35,8	34,9	34,1	32,2	19,0	19,3	20,1	21,2	259,3	246,6	225,3	192,0	1257	1198	1077	910	5,3	5,0	4,6	3,9				
50	18,8	36,2	35,2	34,4	32,5	19,3	19,5	20,3	21,4	267,3	254,4	232,8	199,1	1232	1177	1062	902	5,3	5,1	4,7	4,0				
51	19,2	36,5	35,5	34,7	32,9	19,6	19,8	20,5	21,7	275,2	262,1	240,2	206,1	1208	1156	1047	893	5,4	5,1	4,7	4,0				
52	19,5	36,8	35,8	35,0	33,2	19,9	20,0	20,8	21,9	283,1	269,8	247,5	212,9	1185	1136	1032	884	5,4	5,2	4,8	4,1				
53	19,8	37,1	36,1	35,3	33,5	20,2	20,3	21,0	22,1	290,9	277,4	254,7	219,7	1162	1116	1017	875	5,5	5,2	4,8	4,1				
54	20,2	37,4	36,4	35,5	33,7	20,4	20,6	21,2	22,3	298,6	284,9	261,9	226,3	1141	1096	1003	865	5,5	5,3	4,8	4,2				
55	20,5	37,6	36,6	35,8	34,0	20,7	20,8	21,5	22,5	306,3	292,3	268,9	232,9	1120	1077	988	856	5,6	5,3	4,9	4,2				
56	20,8	37,9	36,9	36,0	34,3	20,9	21,1	21,7	22,7	313,9	299,7	275,8	239,3	1099	1058	973	846	5,6	5,4	4,9	4,3				
57	21,1	38,1	37,1	36,3	34,5	21,2	21,3	21,9	22,9	321,4	306,9	282,7	245,6	1080	1039	959	836	5,6	5,4	5,0	4,3				
58	21,4	38,4	37,3	36,5	34,7	21,5	21,6	22,2	23,1	328,9	314,1	289,5	251,9	1061	1021	945	827	5,7	5,4	5,0	4,3				
59	21,7	38,6	37,5	36,7	34,9	21,7	21,8	22,4	23,3	336,2	321,3	296,2	258,0	1042	1003	931	817	5,7	5,4	5,0	4,4				
60	22,1	38,8	37,7	36,9	35,1	22,0	22,1	22,6	23,5	343,5	328,3	302,8	264,0	1025	986	917	807	5,7	5,5	5,0	4,4				
61	22,4	39,0	37,9	37,1	35,3	22,2	22,3	22,9	23,7	350,8	335,3	309,3	270,0	1007	969	903	797	5,8	5,5	5,1	4,4				
62	22,7	39,2	38,1	37,3	35,5	22,4	22,6	23,1	24,0	357,9	342,2	315,8	275,8	991	952	890	788	5,8	5,5	5,1	4,4				
63	23,0	39,3	38,3	37,4	35,7	22,7	22,8	23,3	24,2	365,0	349,0	322,1	281,6	974	936	876	778	5,8	5,5	5,1	4,5				
64	23,3	39,5	38,5	37,6	35,8	22,9	23,1	23,5	24,4	372,0	355,7	328,4	287,3	959	920	864	769	5,8	5,6	5,1	4,5				
65	23,6	39,7	38,6	37,8	36,0	23,1	23,3	23,8	24,6	379,0	362,4	334,7	292,9	943	905	851	759	5,8	5,6	5,1	4,5				
66	23,9	39,8	38,8	37,9	36,1	23,4	23,6	24,0	24,8	385,8	369,0	340,8	298,4	929	890	838	750	5,8	5,6	5,2	4,5				
67	24,1	40,0	38,9	38,0	36,3	23,6	23,8	24,2	25,0	392,6	375,5	346,9	303,8	914	875	826	741	5,9	5,6	5,2	4,5				
68	24,4	40,1	39,0	38,2	36,4	23,8	24,0	24,4	25,2	399,3	381,9	352,9	309,2	900	861	814	731	5,9	5,6	5,2	4,5				
69	24,7	40,3	39,2	38,3	36,5	24,0	24,3	24,7	25,4	406,0	388,3	358,8	314,5	887	847	802	722	5,9	5,6	5,2	4,6				
70	25,0	40,4	39,3	38,4	36,6	24,3	24,5	24,9	25,6	412,5	394,6	364,6	319,8	874	833	791	713	5,9	5,6	5,2	4,6				
Âge de la plantation (années)	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15					
Hauteur dominante (m)	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm				
	Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)					DHP (cm)					Volume sans écorce (m <sup>3</sup> /ha)					Nombre de tiges (/ha)					Accroissement annuel moyen en volume (m <sup>3</sup> /ha)				

Annexe 23. (suite et fin)

Annexe 24. Table de rendement pour les plantations d'épinette de Norvège avec un IQS<sub>25</sub> de 10 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement : 2 000 plants à l'hectare).

Âge de la plantation (années)	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)			DHP (cm)			Volume sans écorce (m <sup>3</sup> /ha)			Nombre de tiges (/ha)			Accroissement annuel moyen en volume (m <sup>3</sup> /ha)				
		> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	
8	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
9	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
10	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
11	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
12	3,6	1,3	0,2	0,1	0,0	3,7	.	.	1,6	0,4	0,0	0,0	1273	27	7	0,1	0,0	0,0
13	4,1	3,0	0,8	0,4	0,1	4,4	9,1	.	4,1	1,2	0,2	0,0	2047	121	37	0,3	0,1	0,0
14	4,6	4,8	2,0	1,1	0,4	5,0	9,4	.	7,3	2,5	0,5	0,0	2396	286	100	0,5	0,2	0,0
15	5,1	6,6	3,7	2,2	1,0	5,7	9,8	.	11,2	4,5	1,1	0,1	2540	493	197	0,7	0,3	0,1
16	5,6	8,3	5,7	3,7	1,8	6,4	10,1	12,2	15,7	7,1	2,0	0,2	2582	709	316	1,0	0,4	0,1
17	6,1	10,0	7,8	5,4	2,9	7,1	10,5	12,5	20,9	10,5	3,5	0,5	2570	908	443	1,2	0,6	0,2
18	6,6	11,7	9,9	7,3	4,1	7,7	10,8	12,8	26,7	14,7	5,6	1,1	2532	1077	569	1,5	0,8	0,3
19	7,1	13,4	11,9	9,2	5,6	8,3	11,2	13,0	32,9	19,6	8,5	2,0	2480	1214	687	1,7	1,0	0,4
20	7,6	15,0	13,7	11,0	7,1	8,9	11,5	13,3	39,7	25,2	12,0	3,3	2422	1321	792	2,0	1,3	0,6
21	8,1	16,5	15,4	12,8	8,7	9,4	11,8	13,6	47,0	31,6	16,4	5,2	2361	1403	885	2,2	1,5	0,8
22	8,6	18,0	17,1	14,6	10,3	10,0	12,2	13,9	54,6	38,5	21,7	7,7	2300	1465	965	2,5	1,8	1,0
23	9,0	19,4	18,5	16,2	11,9	10,5	12,5	14,1	62,6	46,1	27,6	11,0	2240	1509	1032	2,7	2,0	1,2
24	9,5	20,7	19,9	17,8	13,4	11,0	12,8	14,4	71,0	54,1	34,4	15,0	2181	1541	1088	3,0	2,3	1,4
25	10,0	22,0	21,3	19,3	15,0	11,5	13,2	14,7	79,6	62,6	41,8	19,8	2124	1561	1135	3,2	2,5	1,7
26	10,5	23,2	22,5	20,6	16,5	12,0	13,5	15,0	88,5	71,5	49,7	25,4	2069	1573	1172	3,4	2,8	1,9
27	10,9	24,4	23,7	21,9	17,9	12,4	13,8	15,2	97,7	80,7	58,3	31,7	2015	1579	1202	3,6	3,0	2,2
28	11,4	25,5	24,8	23,2	19,3	12,9	14,1	15,5	107,0	90,2	67,2	38,7	1964	1578	1225	3,8	3,2	2,4
29	11,9	26,5	25,8	24,3	20,6	13,3	14,5	15,8	116,4	99,9	76,5	46,3	1914	1573	1243	4,0	3,4	2,6
30	12,3	27,6	26,8	25,4	21,8	13,7	14,8	16,1	126,0	109,7	86,2	54,5	1866	1565	1255	4,2	3,7	2,9
31	12,8	28,5	27,7	26,4	23,0	14,1	15,1	16,3	135,7	119,7	96,0	63,1	1820	1553	1263	4,4	3,9	3,1
32	13,2	29,4	28,6	27,4	24,1	14,5	15,4	16,6	145,5	129,8	106,0	72,1	1776	1539	1267	4,5	4,1	3,3
33	13,6	30,3	29,5	28,3	25,1	14,9	15,7	16,9	155,4	139,9	116,1	81,4	1733	1523	1267	4,7	4,2	3,5
34	14,1	31,1	30,3	29,2	26,1	15,3	16,0	17,1	165,3	150,0	126,3	90,9	1692	1505	1265	4,9	4,4	3,7
35	14,5	31,9	31,0	30,0	27,0	15,7	16,3	17,4	175,3	160,2	136,5	100,6	1652	1485	1260	5,0	4,6	3,9
36	14,9	32,6	31,8	30,7	27,9	16,0	16,6	17,7	185,3	170,4	146,7	110,4	1614	1465	1254	5,1	4,7	4,1
37	15,3	33,3	32,4	31,5	28,7	16,4	16,9	17,9	195,3	180,5	156,9	120,2	1577	1444	1245	5,3	4,9	4,2
38	15,7	34,0	33,1	32,1	29,5	16,8	17,2	18,2	205,2	190,7	167,0	130,0	1541	1422	1235	5,4	5,0	4,4

39	16,2	34,6	33,7	32,8	30,2	17,1	17,5	18,5	19,8	215,2	200,7	177,0	139,8	1507	1400	1224	983	5,5	5,1	4,5	3,6	
40	16,6	35,3	34,3	33,4	30,9	17,4	17,8	18,7	20,0	225,2	210,7	187,0	149,5	1474	1378	1212	982	5,6	5,3	4,7	3,7	
41	17,0	35,8	34,9	34,0	31,6	17,8	18,1	19,0	20,3	235,1	220,6	196,8	159,1	1442	1355	1199	980	5,7	5,4	4,8	3,9	
42	17,3	36,4	35,4	34,5	32,2	18,1	18,4	19,3	20,5	244,9	230,5	206,6	168,6	1412	1332	1185	977	5,8	5,5	4,9	4,0	
43	17,7	36,9	35,9	35,0	32,7	18,4	18,7	19,5	20,7	254,8	240,3	216,2	178,0	1382	1310	1171	972	5,9	5,6	5,0	4,1	
44	18,1	37,4	36,4	35,5	33,3	18,8	19,0	19,8	20,9	264,5	250,0	225,7	187,3	1353	1287	1156	966	6,0	5,7	5,1	4,3	
45	18,5	37,9	36,9	36,0	33,8	19,1	19,3	20,0	21,2	274,2	259,6	235,1	196,4	1326	1264	1141	960	6,1	5,8	5,2	4,4	
46	18,9	38,3	37,3	36,4	34,3	19,4	19,6	20,3	21,4	283,9	269,1	244,4	205,3	1299	1242	1126	953	6,2	5,8	5,3	4,5	
47	19,2	38,7	37,7	36,8	34,7	19,7	19,8	20,5	21,6	293,4	278,5	253,5	214,1	1273	1220	1110	945	6,2	5,9	5,4	4,6	
48	19,6	39,2	38,1	37,2	35,1	20,0	20,1	20,8	21,9	302,9	287,8	262,5	222,8	1249	1198	1095	937	6,3	6,0	5,5	4,6	
49	20,0	39,5	38,5	37,6	35,5	20,3	20,4	21,1	22,1	312,3	297,1	271,4	231,3	1225	1177	1079	928	6,4	6,1	5,5	4,7	
50	20,3	39,9	38,8	37,9	35,9	20,6	20,7	21,3	22,3	321,7	306,2	280,2	239,6	1201	1156	1063	919	6,4	6,1	5,6	4,8	
51	20,7	40,3	39,2	38,3	36,3	20,9	21,0	21,6	22,5	330,9	315,2	288,9	247,8	1179	1135	1048	909	6,5	6,2	5,7	4,9	
52	21,0	40,6	39,5	38,6	36,6	21,1	21,2	21,8	22,8	340,1	324,2	297,4	255,8	1157	1115	1032	900	6,5	6,2	5,7	4,9	
53	21,4	40,9	39,8	38,9	36,9	21,4	21,5	22,1	23,0	349,2	333,0	305,8	263,7	1137	1095	1017	890	6,6	6,3	5,8	5,0	
54	21,7	41,2	40,1	39,2	37,2	21,7	21,8	22,3	23,2	358,2	341,7	314,1	271,5	1116	1076	1002	880	6,6	6,3	5,8	5,0	
55	22,1	41,5	40,4	39,5	37,5	22,0	22,1	22,6	23,4	367,1	350,4	322,3	279,1	1097	1057	987	870	6,7	6,4	5,9	5,1	
56	22,4	41,8	40,7	39,8	37,8	22,2	22,3	22,8	23,7	375,9	358,9	330,4	286,6	1078	1038	972	860	6,7	6,4	5,9	5,1	
57	22,7	42,0	40,9	40,0	38,0	22,5	22,6	23,1	23,9	384,7	367,3	338,3	294,0	1059	1020	957	849	6,7	6,4	5,9	5,2	
58	23,1	42,3	41,2	40,2	38,3	22,7	22,9	23,3	24,1	393,3	375,7	346,2	301,2	1042	1002	943	839	6,8	6,5	6,0	5,2	
59	23,4	42,5	41,4	40,5	38,5	23,0	23,1	23,6	24,3	401,8	383,9	354,0	308,3	1024	984	929	829	6,8	6,5	6,0	5,2	
60	23,7	42,8	41,6	40,7	38,7	23,2	23,4	23,8	24,5	410,3	392,1	361,6	315,3	1008	967	915	819	6,8	6,5	6,0	5,3	
61	24,0	43,0	41,8	40,9	38,9	23,5	23,7	24,0	24,8	418,7	400,1	369,2	322,2	991	950	901	809	6,9	6,6	6,1	5,3	
62	24,3	43,2	42,0	41,1	39,1	23,7	23,9	24,3	25,0	426,9	408,1	376,6	329,0	976	934	887	799	6,9	6,6	6,1	5,3	
63	24,6	43,4	42,2	41,3	39,3	24,0	24,2	24,5	25,2	435,1	416,0	384,0	335,6	960	918	874	789	6,9	6,6	6,1	5,3	
64	24,9	43,6	42,4	41,4	39,5	24,2	24,5	24,8	25,4	443,2	423,7	391,3	342,2	946	903	861	779	6,9	6,6	6,1	5,3	
65	25,3	43,7	42,6	41,6	39,7	24,5	24,7	25,0	25,6	451,2	431,4	398,4	348,7	931	888	848	769	6,9	6,6	6,1	5,4	
66	25,6	43,9	42,7	41,8	39,8	24,7	25,0	25,2	25,8	459,1	439,0	405,5	355,1	917	873	836	759	7,0	6,7	6,1	5,4	
67	25,9	44,1	42,9	41,9	40,0	24,9	25,2	25,5	26,1	466,9	446,5	412,5	361,3	904	858	823	750	7,0	6,7	6,2	5,4	
68	26,1	44,2	43,0	42,1	40,1	25,1	25,5	25,7	26,3	474,6	453,9	419,4	367,5	890	844	811	741	7,0	6,7	6,2	5,4	
69	26,4	44,4	43,2	42,2	40,2	25,4	25,7	25,9	26,5	482,3	461,3	426,2	373,6	878	831	799	731	7,0	6,7	6,2	5,4	
70	26,7	44,5	43,3	42,3	40,4	25,6	26,0	26,2	26,7	489,8	468,5	432,9	379,6	865	817	788	722	7,0	6,7	6,2	5,4	
Âge de la plantation (années)	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	Accroissement annuel moyen en volume (m³/ha)	
Hauteur dominante (m)	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
	Surface terrière (m²/ha)			DHP (cm)			Volume sans écorce (m³/ha)			Nombre de tiges (/ha)			Accroissement annuel moyen en volume (m³/ha)									

Annexe 24. (suite et fin)

Annexe 25. Table de rendement pour les plantations d'épinette de Norvège avec un IQS<sub>25</sub> de 11 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement : 2 000 plants à l'hectare).

Âge de la plantation (années)	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)			DHP (cm)			Volume sans écorce (m <sup>3</sup> /ha)			Nombre de tiges (/ha)			Accroissement annuel moyen en volume (m <sup>3</sup> /ha)				
		> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	
8	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
9	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
10	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
11	3,5	0,2	0,0	0,0	0,0	3,3	.	.	0,2	0,0	0,0	0,0	200	1	0	0,0	0,0	0,0
12	4,1	1,9	0,2	0,1	0,0	4,1	.	.	2,7	0,6	0,1	0,0	1495	38	10	0,2	0,1	0,0
13	4,6	3,8	1,0	0,5	0,2	4,8	9,3	.	5,9	1,7	0,3	0,0	2075	144	44	0,5	0,1	0,0
14	5,2	5,7	2,4	1,3	0,5	5,6	9,7	.	9,9	3,4	0,7	0,0	2329	320	114	0,7	0,2	0,0
15	5,7	7,6	4,3	2,5	1,1	6,3	10,1	12,2	14,8	5,9	1,4	0,1	2425	537	217	1,0	0,4	0,1
16	6,3	9,5	6,5	4,2	2,0	7,0	10,5	12,5	20,4	9,3	2,6	0,3	2443	757	342	1,3	0,6	0,2
17	6,8	11,3	8,8	6,1	3,2	7,7	10,8	12,8	26,8	13,5	4,5	0,7	2423	956	475	1,6	0,8	0,3
18	7,3	13,2	11,1	8,2	4,7	8,4	11,2	13,1	33,8	18,6	7,2	1,4	2382	1122	604	1,9	1,0	0,4
19	7,9	14,9	13,2	10,2	6,2	9,0	11,6	13,4	41,5	24,7	10,7	2,5	2332	1254	723	2,2	1,3	0,6
20	8,4	16,6	15,3	12,3	7,9	9,6	12,0	13,7	49,7	31,6	15,1	4,1	2278	1355	829	2,5	1,6	0,8
21	8,9	18,3	17,1	14,3	9,6	10,2	12,3	14,0	58,5	39,3	20,5	6,4	2223	1431	921	2,8	1,9	1,0
22	9,5	19,9	18,9	16,1	11,4	10,8	12,7	14,3	67,7	47,8	26,9	9,5	2168	1486	999	3,1	2,2	1,2
23	10,0	21,4	20,5	17,9	13,1	11,4	13,1	14,6	77,4	56,9	34,1	13,5	2114	1525	1064	3,4	2,5	1,5
24	10,5	22,9	22,0	19,6	14,8	11,9	13,4	14,9	87,4	66,6	42,3	18,4	2061	1551	1118	3,6	2,8	1,8
25	11,0	24,2	23,4	21,2	16,5	12,4	13,8	15,2	97,7	76,8	51,2	24,3	2010	1567	1162	3,9	3,1	2,0
26	11,5	25,6	24,8	22,7	18,1	12,9	14,2	15,5	108,3	87,5	60,8	31,0	1961	1574	1197	4,2	3,4	2,3
27	12,0	26,8	26,0	24,1	19,7	13,4	14,5	15,8	119,1	98,5	71,1	38,7	1914	1576	1225	4,4	3,6	2,6
28	12,5	28,0	27,2	25,5	21,2	13,8	14,8	16,1	130,2	109,7	81,8	47,1	1868	1572	1246	4,6	3,9	2,9
29	13,0	29,2	28,3	26,7	22,6	14,3	15,2	16,4	141,3	121,2	92,9	56,2	1823	1564	1261	4,9	4,2	3,2
30	13,4	30,2	29,4	27,9	23,9	14,7	15,5	16,7	152,7	132,9	104,4	66,0	1780	1552	1271	5,1	4,4	3,5
31	13,9	31,3	30,4	29,0	25,2	15,1	15,9	17,0	164,1	144,7	116,1	76,3	1739	1538	1276	5,3	4,7	3,7
32	14,4	32,3	31,4	30,1	26,4	15,5	16,2	17,3	175,6	156,6	127,9	87,0	1699	1522	1278	5,5	4,9	4,0
33	14,8	33,2	32,3	31,0	27,5	16,0	16,5	17,6	187,2	168,5	139,9	98,1	1660	1504	1277	5,7	5,1	4,2
34	15,3	34,1	33,2	32,0	28,6	16,4	16,9	17,9	198,9	180,5	151,9	109,4	1623	1485	1273	5,8	5,3	4,5
35	15,7	34,9	34,0	32,8	29,6	16,7	17,2	18,2	210,5	192,4	163,9	120,8	1587	1464	1267	6,0	5,5	4,7
36	16,2	35,7	34,8	33,7	30,6	17,1	17,5	18,4	222,2	204,3	175,9	132,3	1552	1443	1259	6,2	5,7	4,9
37	16,6	36,5	35,5	34,4	31,5	17,5	17,8	18,7	233,8	216,2	187,9	143,9	1519	1421	1249	6,3	5,8	5,1
38	17,0	37,2	36,2	35,2	32,3	17,9	18,2	19,0	245,4	228,0	199,7	155,5	1486	1399	1238	6,5	6,0	5,3

39	17,5	37,9	36,9	35,9	33,1	18,2	18,5	19,3	20,5	257,0	239,7	211,4	167,0	1455	1376	1226	1002	6,6	6,1	5,4	4,3	
40	17,9	38,6	37,5	36,5	33,8	18,6	18,8	19,6	20,8	268,6	251,4	223,1	178,3	1425	1353	1213	1000	6,7	6,3	5,6	4,5	
41	18,3	39,2	38,1	37,1	34,5	18,9	19,1	19,9	21,0	280,1	262,9	234,5	189,6	1395	1330	1199	997	6,8	6,4	5,7	4,6	
42	18,7	39,8	38,7	37,7	35,2	19,2	19,4	20,1	21,2	291,5	274,3	245,9	200,7	1367	1307	1184	993	6,9	6,5	5,9	4,8	
43	19,1	40,3	39,3	38,3	35,8	19,6	19,7	20,4	21,5	302,9	285,7	257,1	211,7	1340	1284	1169	987	7,0	6,6	6,0	4,9	
44	19,5	40,9	39,8	38,8	36,4	19,9	20,0	20,7	21,7	314,2	296,9	268,1	222,4	1314	1261	1154	981	7,1	6,7	6,1	5,1	
45	19,9	41,4	40,3	39,3	36,9	20,2	20,3	21,0	22,0	325,4	308,0	279,0	233,0	1288	1239	1138	974	7,2	6,8	6,2	5,2	
46	20,3	41,9	40,7	39,8	37,4	20,5	20,6	21,2	22,2	336,5	319,0	289,7	243,4	1264	1217	1122	966	7,3	6,9	6,3	5,3	
47	20,7	42,3	41,2	40,2	37,9	20,9	21,0	21,5	22,5	347,5	329,8	300,2	253,6	1240	1195	1106	957	7,4	7,0	6,4	5,4	
48	21,1	42,8	41,6	40,7	38,4	21,2	21,3	21,8	22,7	358,4	340,6	310,6	263,6	1217	1173	1090	948	7,5	7,1	6,5	5,5	
49	21,4	43,2	42,0	41,1	38,8	21,5	21,6	22,1	22,9	369,3	351,2	320,9	273,4	1194	1152	1074	939	7,5	7,2	6,5	5,6	
50	21,8	43,6	42,4	41,4	39,2	21,8	21,8	22,3	23,2	380,0	361,7	331,0	283,1	1173	1131	1058	929	7,6	7,2	6,6	5,7	
51	22,2	44,0	42,8	41,8	39,6	22,0	22,1	22,6	23,4	390,6	372,1	340,9	292,5	1152	1111	1042	920	7,7	7,3	6,7	5,7	
52	22,5	44,3	43,1	42,2	40,0	22,3	22,4	22,9	23,7	401,1	382,3	350,7	301,8	1132	1091	1027	909	7,7	7,4	6,7	5,8	
53	22,9	44,7	43,5	42,5	40,3	22,6	22,7	23,1	23,9	411,5	392,4	360,4	310,8	1112	1071	1011	899	7,8	7,4	6,8	5,9	
54	23,2	45,0	43,8	42,8	40,6	22,9	23,0	23,4	24,1	421,8	402,4	369,9	319,7	1093	1052	996	889	7,8	7,5	6,9	5,9	
55	23,6	45,3	44,1	43,1	41,0	23,2	23,3	23,7	24,4	432,0	412,3	379,3	328,5	1075	1033	981	878	7,9	7,5	6,9	6,0	
56	23,9	45,6	44,4	43,4	41,2	23,4	23,6	23,9	24,6	442,1	422,1	388,5	337,1	1057	1015	966	868	7,9	7,5	6,9	6,0	
57	24,3	45,9	44,7	43,7	41,5	23,7	23,9	24,2	24,8	452,1	431,7	397,6	345,5	1040	997	951	857	7,9	7,6	7,0	6,1	
58	24,6	46,2	44,9	43,9	41,8	24,0	24,2	24,4	25,1	461,9	441,3	406,6	353,8	1023	980	936	846	8,0	7,6	7,0	6,1	
59	25,0	46,4	45,2	44,2	42,0	24,2	24,4	24,7	25,3	471,7	450,7	415,5	361,9	1007	963	922	836	8,0	7,6	7,0	6,1	
60	25,3	46,7	45,4	44,4	42,3	24,5	24,7	25,0	25,5	481,3	459,9	424,2	369,9	991	946	908	826	8,0	7,7	7,1	6,2	
61	25,6	46,9	45,6	44,6	42,5	24,7	25,0	25,2	25,8	490,8	469,1	432,8	377,7	976	930	894	815	8,0	7,7	7,1	6,2	
62	25,9	47,1	45,9	44,8	42,7	25,0	25,3	25,5	26,0	500,2	478,2	441,3	385,5	961	914	881	805	8,1	7,7	7,1	6,2	
63	26,3	47,3	46,1	45,0	42,9	25,2	25,6	25,7	26,2	509,5	487,1	449,7	393,1	947	898	867	795	8,1	7,7	7,1	6,2	
64	26,6	47,5	46,3	45,2	43,1	25,5	25,8	26,0	26,4	518,7	496,0	457,9	400,5	933	883	854	785	8,1	7,7	7,2	6,3	
65	26,9	47,7	46,4	45,4	43,3	25,7	26,1	26,2	26,7	527,8	504,7	466,1	407,9	919	868	842	775	8,1	7,8	7,2	6,3	
66	27,2	47,9	46,6	45,6	43,4	25,9	26,4	26,5	26,9	536,8	513,3	474,1	415,1	906	854	829	765	8,1	7,8	7,2	6,3	
67	27,5	48,1	46,8	45,7	43,6	26,2	26,6	26,7	27,1	545,6	521,8	482,0	422,3	893	840	817	755	8,1	7,8	7,2	6,3	
68	27,8	48,2	46,9	45,9	43,8	26,4	26,9	26,9	27,3	554,4	530,2	489,9	429,3	881	826	805	745	8,2	7,8	7,2	6,3	
69	28,1	48,4	47,1	46,0	43,9	26,6	27,2	27,2	27,6	563,0	538,5	497,6	436,2	869	813	793	736	8,2	7,8	7,2	6,3	
70	28,4	48,5	47,2	46,2	44,0	26,9	27,4	27,4	27,8	571,5	546,7	505,2	443,0	857	800	781	727	8,2	7,8	7,2	6,3	
Âge de la plantation (années)	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	Accroissement annuel moyen en volume (m³/ha)	
Hauteur dominante (m)	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm									
Surface terrière (m²/ha)	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm									
DHP (cm)	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm									
Volume sans écorce (m³/ha)	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm									
Nombre de tiges (/ha)	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm									

Annexe 25. (suite et fin)

Annexe 26. Table de rendement pour les plantations d'épinette de Norvège avec un IQS<sub>25</sub> de 12 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement : 2 000 plants à l'hectare).

Âge de la plantation (années)	Hauteur dominante (m)		Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)				DHP (cm)				Volume sans écorce (m <sup>3</sup> /ha)				Nombre de tiges (/ha)				Accroissement annuel moyen en volume (m <sup>3</sup> /ha)					
	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm				
8	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	.	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	.	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	.	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	4,0	0,6	0,0	0,0	0,0	3,7	.	.	.	.	.	.	0,9	0,2	0,0	0,0	603	4	1	0	0,1	0,0	0,0	0,0
12	4,6	2,5	0,3	0,1	0,0	4,5	9,2	.	.	.	.	.	4,0	0,9	0,1	0,0	1610	48	12	2	0,3	0,1	0,0	0,0
13	5,2	4,5	1,2	0,5	0,2	5,3	9,6	.	.	.	.	.	8,0	2,3	0,4	0,0	2054	163	51	12	0,6	0,2	0,0	0,0
14	5,8	6,5	2,7	1,4	0,6	6,1	10,0	12,1	.	.	.	.	13,0	4,5	0,9	0,1	2242	349	126	34	0,9	0,3	0,1	0,0
15	6,4	8,6	4,8	2,9	1,3	6,9	10,4	12,4	.	.	.	.	18,9	7,6	1,8	0,2	2306	572	235	73	1,3	0,5	0,1	0,0
16	7,0	10,6	7,3	4,7	2,3	7,6	10,8	12,8	15,1	15,4	15,4	15,1	25,8	11,7	3,3	0,4	2311	794	365	127	1,6	0,7	0,2	0,0
17	7,5	12,6	9,8	6,8	3,6	8,4	11,2	13,1	15,4	15,4	15,4	15,4	33,5	16,8	5,6	0,9	2285	991	501	193	2,0	1,0	0,3	0,1
18	8,1	14,6	12,3	9,0	5,1	9,1	11,6	13,5	15,7	15,7	15,7	15,7	41,9	23,1	8,9	1,7	2245	1153	632	266	2,3	1,3	0,5	0,1
19	8,7	16,5	14,6	11,3	6,9	9,8	12,1	13,8	16,0	16,0	16,0	16,0	51,1	30,4	13,1	3,0	2199	1280	751	343	2,7	1,6	0,7	0,2
20	9,3	18,3	16,8	13,5	8,7	10,4	12,5	14,2	16,2	16,2	16,2	16,2	60,9	38,7	18,5	5,0	2149	1375	857	419	3,0	1,9	0,9	0,3
21	9,8	20,1	18,8	15,6	10,6	11,0	12,9	14,5	16,5	16,5	16,5	16,5	71,3	48,0	25,0	7,9	2099	1445	947	493	3,4	2,3	1,2	0,4
22	10,4	21,8	20,7	17,7	12,5	11,6	13,3	14,8	16,8	16,8	16,8	16,8	82,3	58,0	32,6	11,6	2050	1494	1023	563	3,7	2,6	1,5	0,5
23	10,9	23,4	22,4	19,6	14,3	12,2	13,7	15,2	17,1	17,1	17,1	17,1	93,7	68,9	41,3	16,4	2001	1527	1086	628	4,1	3,0	1,8	0,7
24	11,5	25,0	24,0	21,4	16,2	12,8	14,1	15,5	17,3	17,3	17,3	17,3	105,4	80,4	51,0	22,2	1955	1548	1138	688	4,4	3,3	2,1	0,9
25	12,0	26,4	25,6	23,2	18,0	13,3	14,4	15,8	17,6	17,6	17,6	17,6	117,5	92,5	61,6	29,2	1909	1560	1179	742	4,7	3,7	2,5	1,2
26	12,5	27,9	27,0	24,8	19,8	13,8	14,8	16,1	17,8	17,8	17,8	17,8	130,0	105,0	73,0	37,2	1865	1564	1212	790	5,0	4,0	2,8	1,4
27	13,0	29,2	28,4	26,3	21,4	14,3	15,2	16,4	18,1	18,1	18,1	18,1	142,6	117,9	85,1	46,3	1822	1562	1237	833	5,3	4,4	3,2	1,7
28	13,6	30,5	29,6	27,7	23,0	14,8	15,6	16,8	18,4	18,4	18,4	18,4	155,5	131,1	97,7	56,3	1781	1555	1256	870	5,6	4,7	3,5	2,0
29	14,1	31,7	30,8	29,1	24,6	15,2	15,9	17,1	18,6	18,6	18,6	18,6	168,5	144,5	110,8	67,1	1741	1544	1269	901	5,8	5,0	3,8	2,3
30	14,6	32,9	32,0	30,3	26,0	15,7	16,3	17,4	18,9	18,9	18,9	18,9	181,7	158,2	124,2	78,6	1703	1531	1277	928	6,1	5,3	4,1	2,6
31	15,1	34,0	33,1	31,5	27,4	16,1	16,7	17,7	19,1	19,1	19,1	19,1	195,0	171,9	137,9	90,6	1666	1515	1281	951	6,3	5,5	4,4	2,9
32	15,5	35,0	34,1	32,7	28,7	16,5	17,0	18,0	19,4	19,4	19,4	19,4	208,3	185,7	151,7	103,2	1629	1498	1281	970	6,5	5,8	4,7	3,2
33	16,0	36,1	35,1	33,7	29,9	17,0	17,4	18,3	19,7	19,7	19,7	19,7	221,7	199,5	165,6	116,1	1594	1478	1278	984	6,7	6,0	5,0	3,5
34	16,5	37,0	36,0	34,7	31,1	17,4	17,7	18,6	19,9	19,9	19,9	19,9	235,1	213,4	179,6	129,3	1561	1458	1273	996	6,9	6,3	5,3	3,8
35	17,0	37,9	36,9	35,6	32,1	17,8	18,1	18,9	20,2	20,2	20,2	20,2	248,6	227,2	193,6	142,6	1528	1437	1265	1004	7,1	6,5	5,5	4,1
36	17,4	38,8	37,7	36,5	33,2	18,2	18,4	19,2	20,5	20,5	20,5	20,5	262,0	240,9	207,4	156,1	1496	1415	1256	1010	7,3	6,7	5,8	4,3
37	17,9	39,6	38,5	37,4	34,1	18,5	18,8	19,5	20,7	20,7	20,7	20,7	275,4	254,6	221,2	169,5	1466	1392	1245	1013	7,4	6,9	6,0	4,6
38	18,3	40,4	39,3	38,1	35,0	18,9	19,1	19,8	21,0	21,0	21,0	21,0	288,7	268,2	234,9	182,9	1436	1369	1233	1014	7,6	7,1	6,2	4,8

39	18,8	41,1	40,0	38,9	35,9	19,3	19,4	20,1	21,2	302,0	281,6	248,4	196,2	1407	1346	1220	1013	7,7	7,2	6,4	5,0	
40	19,2	41,8	40,7	39,6	36,7	19,6	19,8	20,4	21,5	315,2	295,0	261,8	209,3	1380	1323	1206	1011	7,9	7,4	6,5	5,2	
41	19,6	42,5	41,3	40,3	37,4	20,0	20,1	20,7	21,7	328,4	308,2	275,0	222,3	1353	1300	1192	1007	8,0	7,5	6,7	5,4	
42	20,1	43,1	42,0	40,9	38,1	20,3	20,4	21,0	22,0	341,4	321,3	288,0	235,1	1327	1277	1177	1002	8,1	7,7	6,9	5,6	
43	20,5	43,7	42,5	41,5	38,8	20,7	20,8	21,3	22,3	354,4	334,3	300,8	247,7	1302	1255	1161	996	8,2	7,8	7,0	5,8	
44	20,9	44,3	43,1	42,0	39,4	21,0	21,1	21,6	22,5	367,3	347,1	313,4	260,0	1277	1232	1145	989	8,3	7,9	7,1	5,9	
45	21,3	44,8	43,6	42,6	40,0	21,3	21,4	21,9	22,8	380,0	359,7	325,8	272,2	1254	1210	1129	981	8,4	8,0	7,2	6,0	
46	21,7	45,4	44,1	43,1	40,6	21,7	21,7	22,2	23,0	392,7	372,2	338,0	284,1	1231	1188	1113	973	8,5	8,1	7,3	6,2	
47	22,1	45,9	44,6	43,6	41,1	22,0	22,1	22,5	23,3	405,2	384,6	350,1	295,7	1209	1167	1097	964	8,6	8,2	7,4	6,3	
48	22,5	46,3	45,1	44,0	41,6	22,3	22,4	22,8	23,5	417,6	396,8	361,9	307,1	1187	1145	1081	955	8,7	8,3	7,5	6,4	
49	22,9	46,8	45,5	44,5	42,0	22,6	22,7	23,1	23,8	429,9	408,8	373,6	318,3	1167	1125	1065	945	8,8	8,3	7,6	6,5	
50	23,3	47,2	45,9	44,9	42,5	22,9	23,0	23,3	24,1	442,1	420,8	385,0	329,3	1147	1104	1049	935	8,8	8,4	7,7	6,6	
51	23,6	47,6	46,3	45,3	42,9	23,2	23,3	23,6	24,3	454,1	432,5	396,3	340,0	1127	1084	1033	924	8,9	8,5	7,8	6,7	
52	24,0	48,0	46,7	45,6	43,3	23,5	23,6	23,9	24,6	466,0	444,1	407,4	350,5	1108	1065	1017	914	9,0	8,5	7,8	6,7	
53	24,4	48,4	47,1	46,0	43,6	23,8	23,9	24,2	24,8	477,8	455,6	418,4	360,8	1090	1045	1001	903	9,0	8,6	7,9	6,8	
54	24,7	48,7	47,4	46,3	44,0	24,1	24,2	24,5	25,1	489,4	466,9	429,1	370,9	1072	1027	986	893	9,1	8,6	7,9	6,9	
55	25,1	49,1	47,7	46,7	44,3	24,3	24,6	24,7	25,3	500,9	478,0	439,7	380,8	1055	1008	971	882	9,1	8,7	8,0	6,9	
56	25,4	49,4	48,0	47,0	44,6	24,6	24,9	25,0	25,5	512,3	489,1	450,2	390,6	1038	991	956	871	9,1	8,7	8,0	7,0	
57	25,8	49,7	48,3	47,3	44,9	24,9	25,1	25,3	25,8	523,5	499,9	460,5	400,1	1022	973	941	860	9,2	8,8	8,1	7,0	
58	26,1	50,0	48,6	47,5	45,2	25,1	25,4	25,6	26,0	534,6	510,7	470,6	409,4	1006	956	927	849	9,2	8,8	8,1	7,1	
59	26,5	50,2	48,9	47,8	45,5	25,4	25,7	25,8	26,3	545,6	521,3	480,6	418,6	991	939	912	839	9,2	8,8	8,1	7,1	
60	26,8	50,5	49,1	48,0	45,7	25,7	26,0	26,1	26,5	556,4	531,7	490,4	427,6	976	923	898	828	9,3	8,9	8,2	7,1	
61	27,2	50,8	49,4	48,3	46,0	25,9	26,3	26,4	26,8	567,1	542,0	500,1	436,4	962	907	885	817	9,3	8,9	8,2	7,2	
62	27,5	51,0	49,6	48,5	46,2	26,2	26,6	26,6	27,0	577,7	552,2	509,6	445,1	948	892	871	807	9,3	8,9	8,2	7,2	
63	27,8	51,2	49,8	48,7	46,4	26,4	26,9	26,9	27,2	588,1	562,2	519,0	453,7	934	877	858	797	9,3	8,9	8,2	7,2	
64	28,1	51,4	50,0	48,9	46,6	26,7	27,2	27,2	27,5	598,4	572,2	528,3	462,1	921	862	845	786	9,4	8,9	8,3	7,2	
65	28,5	51,6	50,2	49,1	46,8	26,9	27,5	27,4	27,7	608,6	581,9	537,4	470,3	908	848	833	776	9,4	9,0	8,3	7,2	
66	28,8	51,8	50,4	49,3	47,0	27,1	27,8	27,7	27,9	618,6	591,6	546,4	478,4	895	834	820	766	9,4	9,0	8,3	7,2	
67	29,1	52,0	50,6	49,5	47,2	27,4	28,0	27,9	28,2	628,5	601,1	555,3	486,4	883	820	808	757	9,4	9,0	8,3	7,3	
68	29,4	52,2	50,8	49,7	47,3	27,6	28,3	28,2	28,4	638,3	610,5	564,1	494,3	871	807	796	747	9,4	9,0	8,3	7,3	
69	29,7	52,4	51,0	49,8	47,5	27,8	28,6	28,4	28,6	648,0	619,8	572,7	502,0	860	794	784	737	9,4	9,0	8,3	7,3	
70	30,0	52,5	51,1	50,0	47,6	28,1	28,9	28,7	28,9	657,5	628,9	581,2	509,7	849	781	773	728	9,4	9,0	8,3	7,3	
Âge de la plantation dominante (années)	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	
Hauteur dominante (m)	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm									
Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)																						
DHP (cm)																						
Volume sans écorce (m <sup>3</sup> /ha)																						
Nombre de tiges (/ha)																						
Accroissement annuel moyen en volume (m <sup>3</sup> /ha)																						

Annexe 26. (suite et fin)

Annexe 27. Table de rendement pour les plantations d'épinette de Norvège avec un IQS<sub>25</sub> de 13 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement : 2 000 plants à l'hectare).

Âge de la plantation (années)	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)			DHP (cm)			Volume sans écorce (m <sup>3</sup> /ha)			Nombre de tiges (/ha)			Accroissement annuel moyen en volume (m <sup>3</sup> /ha)				
		> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	
8	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
9	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
10	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
11	4,5	1,1	0,0	0,0	0,0	4,0	.	.	1,7	0,3	0,0	0,0	862	7	1	0,2	0,0	0,0
12	5,1	3,1	0,4	0,2	0,0	4,9	9,4	.	5,5	1,3	0,1	0,0	1660	56	15	3	0,5	0,1
13	5,8	5,2	1,4	0,6	0,2	5,8	9,8	.	10,4	3,0	0,5	0,0	2006	180	56	13	0,8	0,2
14	6,4	7,4	3,1	1,6	0,6	6,6	10,2	12,3	16,5	5,7	1,1	0,1	2147	373	137	38	1,2	0,4
15	7,0	9,6	5,4	3,2	1,4	7,5	10,7	12,7	23,6	9,5	2,2	0,2	2190	600	250	79	1,6	0,6
16	7,7	11,7	8,0	5,2	2,5	8,3	11,2	13,1	31,8	14,4	4,1	0,5	2186	823	384	135	2,0	0,9
17	8,3	13,9	10,8	7,5	4,0	9,0	11,6	13,5	40,9	20,6	6,9	1,1	2159	1017	522	204	2,4	1,2
18	8,9	15,9	13,4	9,9	5,6	9,8	12,1	13,9	50,9	28,0	10,8	2,1	2121	1174	654	279	2,8	1,6
19	9,5	18,0	15,9	12,3	7,5	10,5	12,5	14,2	61,7	36,7	15,9	3,7	2077	1294	773	357	3,2	1,9
20	10,1	19,9	18,3	14,7	9,5	11,2	13,0	14,6	73,3	46,6	22,2	6,1	2033	1384	877	435	3,7	2,3
21	10,7	21,8	20,4	17,0	11,5	11,8	13,4	15,0	85,5	57,5	29,9	9,4	1988	1447	965	510	4,1	2,7
22	11,3	23,6	22,4	19,2	13,5	12,4	13,8	15,3	98,2	69,3	38,9	13,8	1944	1491	1039	581	4,5	3,2
23	11,9	25,4	24,3	21,3	15,6	13,0	14,3	15,7	111,5	82,0	49,2	19,5	1900	1519	1100	646	4,8	3,6
24	12,4	27,0	26,0	23,2	17,6	13,6	14,7	16,0	125,1	95,4	60,6	26,4	1859	1536	1149	705	5,2	4,0
25	13,0	28,6	27,7	25,1	19,5	14,2	15,1	16,4	139,2	109,5	73,0	34,6	1818	1544	1188	759	5,6	4,4
26	13,6	30,1	29,2	26,8	21,4	14,7	15,5	16,7	153,5	124,0	86,3	44,0	1779	1544	1219	807	5,9	4,8
27	14,1	31,6	30,6	28,4	23,2	15,2	15,9	17,1	168,1	139,0	100,3	54,6	1740	1540	1242	848	6,2	5,1
28	14,6	32,9	32,0	29,9	24,9	15,7	16,3	17,4	182,9	154,2	115,0	66,2	1704	1531	1258	885	6,5	5,5
29	15,2	34,2	33,3	31,4	26,5	16,2	16,7	17,7	197,9	169,7	130,1	78,7	1668	1518	1269	916	6,8	5,9
30	15,7	35,5	34,5	32,7	28,1	16,6	17,1	18,1	213,0	185,4	145,6	92,1	1633	1503	1275	942	7,1	6,2
31	16,2	36,7	35,7	34,0	29,5	17,1	17,5	18,4	228,2	201,2	161,4	106,1	1599	1486	1277	964	7,4	6,5
32	16,7	37,8	36,8	35,2	30,9	17,5	17,9	18,7	243,5	217,1	177,3	120,6	1567	1467	1276	981	7,6	6,8
33	17,2	38,9	37,8	36,3	32,2	18,0	18,2	19,1	258,8	232,9	193,3	135,5	1535	1447	1272	995	7,8	7,1
34	17,7	39,9	38,8	37,4	33,5	18,4	18,6	19,4	274,1	248,7	209,3	150,7	1504	1426	1266	1006	8,1	7,3
35	18,2	40,8	39,7	38,4	34,6	18,8	19,0	19,7	289,4	264,5	225,3	166,0	1474	1405	1258	1013	8,3	7,6
36	18,7	41,8	40,6	39,3	35,7	19,2	19,3	20,0	304,6	280,1	241,2	181,4	1446	1382	1247	1018	8,5	7,8
37	19,1	42,6	41,5	40,2	36,8	19,6	19,7	20,4	319,8	295,7	256,9	196,8	1418	1360	1236	1021	8,6	8,0
38	19,6	43,5	42,3	41,1	37,7	19,9	20,1	20,7	334,9	311,1	272,5	212,2	1390	1337	1223	1021	8,8	8,2

39	20,0	44,2	43,1	41,9	38,6	20,3	20,4	21,0	22,0	350,0	326,4	287,9	227,3	1364	1314	1209	1020	9,0	8,4	7,4	5,8	
40	20,5	45,0	43,8	42,6	39,5	20,7	20,8	21,3	22,2	365,0	341,5	303,1	242,3	1338	1291	1195	1017	9,1	8,5	7,6	6,1	
41	20,9	45,7	44,5	43,3	40,3	21,0	21,1	21,6	22,5	379,8	356,5	318,1	257,1	1314	1268	1180	1012	9,3	8,7	7,8	6,3	
42	21,4	46,4	45,1	44,0	41,0	21,4	21,5	21,9	22,8	394,6	371,3	332,8	271,7	1290	1246	1165	1007	9,4	8,8	7,9	6,5	
43	21,8	47,0	45,8	44,6	41,7	21,7	21,8	22,2	23,1	409,2	385,9	347,3	286,0	1266	1223	1149	1000	9,5	9,0	8,1	6,7	
44	22,2	47,6	46,4	45,2	42,4	22,1	22,2	22,5	23,3	423,7	400,4	361,6	300,0	1244	1201	1133	993	9,6	9,1	8,2	6,8	
45	22,7	48,2	46,9	45,8	43,0	22,4	22,5	22,9	23,6	438,1	414,7	375,6	313,7	1222	1179	1116	984	9,7	9,2	8,3	7,0	
46	23,1	48,8	47,5	46,3	43,6	22,7	22,9	23,2	23,9	452,3	428,7	389,4	327,2	1201	1158	1100	976	9,8	9,3	8,5	7,1	
47	23,5	49,3	48,0	46,9	44,2	23,1	23,2	23,5	24,1	466,4	442,7	402,9	340,4	1180	1137	1084	966	9,9	9,4	8,6	7,2	
48	23,9	49,8	48,5	47,4	44,7	23,4	23,5	23,8	24,4	480,3	456,4	416,3	353,3	1160	1116	1068	956	10,0	9,5	8,7	7,4	
49	24,3	50,3	48,9	47,8	45,2	23,7	23,9	24,1	24,7	494,1	469,9	429,4	365,9	1141	1096	1052	946	10,1	9,6	8,8	7,5	
50	24,7	50,8	49,4	48,3	45,7	24,0	24,2	24,4	24,9	507,7	483,3	442,3	378,2	1122	1076	1035	936	10,2	9,7	8,8	7,6	
51	25,1	51,2	49,8	48,7	46,1	24,3	24,5	24,7	25,2	521,2	496,4	454,9	390,3	1104	1056	1020	925	10,2	9,7	8,9	7,7	
52	25,4	51,6	50,2	49,1	46,5	24,6	24,8	24,9	25,5	534,5	509,4	467,4	402,1	1086	1037	1004	915	10,3	9,8	9,0	7,7	
53	25,8	52,0	50,6	49,5	46,9	24,9	25,2	25,2	25,7	547,7	522,3	479,6	413,7	1069	1019	988	904	10,3	9,9	9,0	7,8	
54	26,2	52,4	51,0	49,8	47,3	25,2	25,5	25,5	26,0	560,7	534,9	491,7	425,0	1052	1000	973	893	10,4	9,9	9,1	7,9	
55	26,6	52,7	51,3	50,2	47,7	25,5	25,8	25,8	26,2	573,5	547,4	503,5	436,1	1036	983	958	882	10,4	10,0	9,2	7,9	
56	26,9	53,1	51,6	50,5	48,0	25,7	26,1	26,1	26,5	586,2	559,7	515,2	446,9	1020	965	943	871	10,5	10,0	9,2	8,0	
57	27,3	53,4	52,0	50,8	48,3	26,0	26,4	26,4	26,7	598,8	571,8	526,7	457,6	1005	948	929	860	10,5	10,0	9,2	8,0	
58	27,6	53,7	52,3	51,1	48,6	26,3	26,7	26,7	27,0	611,1	583,8	538,0	468,0	990	932	914	849	10,5	10,1	9,3	8,1	
59	28,0	54,0	52,5	51,4	48,9	26,5	27,0	27,0	27,3	623,3	595,6	549,1	478,3	976	916	900	838	10,6	10,1	9,3	8,1	
60	28,3	54,3	52,8	51,6	49,2	26,8	27,3	27,2	27,5	635,4	607,2	560,0	488,3	962	900	886	827	10,6	10,1	9,3	8,1	
61	28,7	54,5	53,1	51,9	49,4	27,1	27,6	27,5	27,8	647,3	618,7	570,8	498,2	948	885	873	817	10,6	10,1	9,4	8,2	
62	29,0	54,8	53,3	52,1	49,7	27,3	27,9	27,8	28,0	659,1	630,0	581,4	507,8	935	870	860	806	10,6	10,2	9,4	8,2	
63	29,3	55,0	53,6	52,4	49,9	27,6	28,2	28,1	28,3	670,6	641,2	591,9	517,4	922	855	847	796	10,6	10,2	9,4	8,2	
64	29,7	55,3	53,8	52,6	50,1	27,8	28,5	28,3	28,5	682,1	652,2	602,2	526,7	909	841	834	786	10,7	10,2	9,4	8,2	
65	30,0	55,5	54,0	52,8	50,3	28,1	28,8	28,6	28,7	693,4	663,0	612,3	535,9	897	827	821	775	10,7	10,2	9,4	8,2	
66	30,3	55,7	54,2	53,0	50,5	28,3	29,1	28,9	29,0	704,5	673,7	622,3	544,9	885	814	809	765	10,7	10,2	9,4	8,3	
67	30,6	55,9	54,4	53,2	50,7	28,5	29,4	29,1	29,2	715,5	684,3	632,1	553,7	874	800	797	756	10,7	10,2	9,4	8,3	
68	31,0	56,1	54,6	53,4	50,9	28,8	29,7	29,4	29,5	726,4	694,7	641,8	562,5	862	788	786	746	10,7	10,2	9,4	8,3	
69	31,3	56,3	54,7	53,5	51,0	29,0	30,0	29,7	29,7	737,1	705,0	651,4	571,0	851	775	774	736	10,7	10,2	9,4	8,3	
70	31,6	56,4	54,9	53,7	51,2	29,2	30,3	29,9	29,9	747,6	715,1	660,8	579,5	841	763	763	727	10,7	10,2	9,4	8,3	
Âge de la plantation (années)	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	Accroissement annuel moyen en volume (m³/ha)	
Hauteur dominante (m)	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
	Surface terrière (m²/ha)			DHP (cm)			Volume sans écorce (m³/ha)			Nombre de tiges (/ha)			Accroissement annuel moyen en volume (m³/ha)									

Annexe 27. (suite et fin)

Annexe 28. Table de rendement pour les plantations d'épinette de Norvège avec un IQS<sub>25</sub> de 14 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement : 2 000 plants à l'hectare).

Âge de la plantation (années)	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)			DHP (cm)			Volume sans écorce (m <sup>3</sup> /ha)			Nombre de tiges (/ha)			Accroissement annuel moyen en volume (m <sup>3</sup> /ha)				
		> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	
8	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
9	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
10	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
11	5,0	1,5	0,1	0,0	0,0	4,4	9,1	.	2,7	0,5	0,0	0,0	1027	9	2	0,2	0,0	0,0
12	5,7	3,7	0,5	0,2	0,1	5,3	9,6	.	7,3	1,7	0,2	0,0	1669	64	17	0,6	0,1	0,0
13	6,4	5,9	1,5	0,7	0,2	6,2	10,0	12,2	13,2	3,8	0,6	0,0	1943	194	62	1,0	0,3	0,0
14	7,0	8,2	3,4	1,8	0,7	7,1	10,5	12,6	20,4	7,1	1,4	0,1	2051	393	146	1,5	0,5	0,1
15	7,7	10,5	5,9	3,5	1,5	8,0	11,0	13,0	28,8	11,6	2,7	0,3	2080	622	263	1,9	0,8	0,2
16	8,4	12,8	8,8	5,7	2,8	8,9	11,5	13,5	38,5	17,4	5,0	0,6	2071	843	399	2,4	1,1	0,3
17	9,0	15,1	11,7	8,1	4,3	9,7	12,0	13,9	49,2	24,8	8,3	1,3	2043	1034	539	2,9	1,5	0,5
18	9,7	17,3	14,6	10,7	6,1	10,5	12,5	14,3	60,9	33,5	12,9	2,5	2007	1185	670	3,4	1,9	0,7
19	10,3	19,5	17,3	13,3	8,1	11,2	13,0	14,7	73,4	43,7	18,9	4,4	1988	1299	789	3,9	2,3	1,0
20	11,0	21,5	19,8	15,9	10,2	11,9	13,5	15,1	86,8	55,2	26,3	7,2	1928	1382	891	4,3	2,8	1,3
21	11,6	23,5	22,1	18,3	12,4	12,6	14,0	15,5	100,9	67,8	35,3	11,1	1887	1440	977	4,8	3,2	1,7
22	12,2	25,5	24,2	20,7	14,6	13,2	14,4	15,8	115,6	81,6	45,8	16,3	1848	1479	1049	5,3	3,7	2,1
23	12,8	27,3	26,2	22,9	16,7	13,9	14,9	16,2	130,8	96,2	57,7	22,9	1809	1503	1107	5,7	4,2	2,5
24	13,4	29,1	28,0	25,0	18,9	14,5	15,3	16,6	146,5	111,7	70,9	30,9	1772	1516	1153	6,1	4,7	3,0
25	14,0	30,8	29,7	26,9	20,9	15,0	15,8	17,0	162,6	127,9	85,2	40,4	1736	1521	1190	6,5	5,1	3,4
26	14,6	32,4	31,4	28,8	22,9	15,6	16,2	17,3	179,0	144,6	100,6	51,3	1701	1519	1218	6,9	5,6	3,9
27	15,1	33,9	32,9	30,5	24,9	16,1	16,6	17,7	195,6	161,7	116,7	63,5	1666	1512	1239	7,2	6,0	4,3
28	15,7	35,3	34,3	32,1	26,7	16,6	17,1	18,1	212,5	179,1	133,5	76,9	1633	1501	1254	7,6	6,4	4,8
29	16,3	36,7	35,7	33,7	28,4	17,1	17,5	18,4	229,5	196,8	150,9	91,3	1601	1487	1263	7,9	6,8	5,2
30	16,8	38,1	37,0	35,1	30,1	17,6	17,9	18,8	246,6	214,7	168,6	106,6	1570	1471	1268	8,2	7,2	5,6
31	17,3	39,3	38,2	36,5	31,7	18,0	18,3	19,1	263,8	232,6	186,6	122,7	1539	1453	1269	8,5	7,5	6,0
32	17,9	40,5	39,4	37,7	33,1	18,5	18,7	19,5	281,1	250,6	204,7	139,3	1510	1433	1266	8,8	7,8	6,4
33	18,4	41,6	40,5	38,9	34,5	18,9	19,1	19,8	298,4	268,6	222,9	156,3	1481	1413	1261	9,0	8,1	6,8
34	18,9	42,7	41,6	40,1	35,9	19,3	19,5	20,2	315,6	286,4	241,1	173,6	1453	1391	1254	9,3	8,4	7,1
35	19,4	43,7	42,6	41,1	37,1	19,8	19,9	20,5	332,9	304,2	259,2	191,0	1426	1370	1245	9,5	8,7	7,4
36	19,9	44,7	43,5	42,1	38,2	20,2	20,3	20,8	350,0	321,9	277,2	208,5	1399	1347	1234	9,7	8,9	7,7
37	20,4	45,6	44,4	43,1	39,3	20,6	20,7	21,2	367,1	339,4	295,0	226,0	1373	1325	1222	9,9	9,2	8,0
38	20,8	46,5	45,3	44,0	40,4	21,0	21,0	21,5	384,1	356,8	312,5	243,3	1349	1302	1209	10,1	9,4	8,2

39	21,3	47,3	46,1	44,8	41,3	21,3	21,4	21,9	22,7	401,0	374,0	329,9	260,5	1324	1279	1195	1021	10,3	9,6	8,5	6,7	
40	21,8	48,1	46,9	45,6	42,2	21,7	21,8	22,2	23,0	417,8	391,0	346,9	277,4	1301	1257	1180	1018	10,4	9,8	8,7	6,9	
41	22,2	48,9	47,6	46,3	43,1	22,1	22,2	22,5	23,3	434,4	407,7	363,8	294,1	1278	1234	1165	1013	10,6	9,9	8,9	7,2	
42	22,7	49,6	48,3	47,1	43,9	22,4	22,5	22,8	23,6	450,9	424,3	380,3	310,5	1256	1212	1149	1007	10,7	10,1	9,1	7,4	
43	23,1	50,3	49,0	47,7	44,6	22,8	22,9	23,2	23,8	467,2	440,7	396,5	326,5	1234	1190	1133	1000	10,9	10,2	9,2	7,6	
44	23,6	51,0	49,6	48,4	45,3	23,1	23,2	23,5	24,1	483,4	456,8	412,5	342,3	1213	1169	1117	992	11,0	10,4	9,4	7,8	
45	24,0	51,6	50,2	49,0	46,0	23,5	23,6	23,8	24,4	499,4	472,7	428,2	357,7	1193	1147	1101	983	11,1	10,5	9,5	7,9	
46	24,4	52,2	50,8	49,6	46,6	23,8	24,0	24,1	24,7	515,3	488,5	443,6	372,8	1173	1126	1084	974	11,2	10,6	9,6	8,1	
47	24,8	52,7	51,3	50,1	47,2	24,1	24,3	24,4	25,0	531,0	503,9	458,7	387,5	1154	1106	1068	965	11,3	10,7	9,8	8,2	
48	25,2	53,3	51,8	50,6	47,8	24,4	24,7	24,8	25,2	546,5	519,2	473,6	401,9	1135	1086	1052	955	11,4	10,8	9,9	8,4	
49	25,6	53,8	52,3	51,1	48,3	24,8	25,0	25,1	25,5	561,8	534,3	488,2	416,0	1117	1066	1036	944	11,5	10,9	10,0	8,5	
50	26,0	54,3	52,8	51,6	48,8	25,1	25,3	25,4	25,8	576,9	549,1	502,5	429,7	1099	1047	1020	934	11,5	11,0	10,1	8,6	
51	26,4	54,7	53,2	52,0	49,3	25,4	25,7	25,7	26,1	591,9	563,8	516,6	443,2	1082	1028	1004	923	11,6	11,1	10,1	8,7	
52	26,8	55,2	53,7	52,5	49,7	25,7	26,0	26,0	26,3	606,6	578,2	530,4	456,3	1066	1009	989	912	11,7	11,1	10,2	8,8	
53	27,2	55,6	54,1	52,9	50,2	26,0	26,4	26,3	26,6	621,2	592,4	544,0	469,2	1049	991	973	901	11,7	11,2	10,3	8,9	
54	27,6	56,0	54,5	53,2	50,5	26,3	26,7	26,6	26,9	635,6	606,4	557,4	481,8	1034	974	958	890	11,8	11,2	10,3	8,9	
55	28,0	56,4	54,8	53,6	50,9	26,5	27,0	26,9	27,2	649,9	620,2	570,5	494,1	1018	956	943	879	11,8	11,3	10,4	9,0	
56	28,4	56,7	55,2	53,9	51,3	26,8	27,3	27,2	27,4	663,9	633,8	583,4	506,1	1004	940	929	868	11,9	11,3	10,4	9,0	
57	28,7	57,1	55,5	54,3	51,6	27,1	27,7	27,5	27,7	677,7	647,2	596,1	517,9	989	923	914	857	11,9	11,4	10,5	9,1	
58	29,1	57,4	55,8	54,6	51,9	27,4	28,0	27,8	28,0	691,4	660,4	608,6	529,5	975	907	900	846	11,9	11,4	10,5	9,1	
59	29,4	57,7	56,1	54,9	52,2	27,6	28,3	28,1	28,2	704,9	673,5	620,9	540,8	961	892	887	835	11,9	11,4	10,5	9,2	
60	29,8	58,0	56,4	55,2	52,5	27,9	28,6	28,4	28,5	718,2	686,3	633,0	551,9	948	877	873	824	12,0	11,4	10,5	9,2	
61	30,1	58,3	56,7	55,4	52,8	28,2	28,9	28,7	28,7	731,3	699,0	644,9	562,8	935	862	860	814	12,0	11,5	10,6	9,2	
62	30,5	58,5	57,0	55,7	53,1	28,4	29,3	28,9	29,0	744,3	711,4	656,6	573,5	923	847	847	803	12,0	11,5	10,6	9,3	
63	30,8	58,8	57,2	55,9	53,3	28,7	29,6	29,2	29,3	757,0	723,7	668,1	584,0	910	833	834	793	12,0	11,5	10,6	9,3	
64	31,2	59,0	57,5	56,2	53,5	28,9	29,9	29,5	29,5	769,6	735,9	679,4	594,3	898	820	821	782	12,0	11,5	10,6	9,3	
65	31,5	59,3	57,7	56,4	53,7	29,2	30,2	29,8	29,8	782,0	747,8	690,6	604,4	887	806	809	772	12,0	11,5	10,6	9,3	
66	31,8	59,5	57,9	56,6	54,0	29,4	30,5	30,1	30,0	794,3	759,6	701,6	614,3	875	793	797	762	12,0	11,5	10,6	9,3	
67	32,1	59,7	58,1	56,8	54,2	29,7	30,8	30,3	30,3	806,4	771,2	712,4	624,1	864	780	786	752	12,0	11,5	10,6	9,3	
68	32,5	59,9	58,3	57,0	54,3	29,9	31,1	30,6	30,5	818,3	782,6	723,1	633,6	854	768	774	743	12,0	11,5	10,6	9,3	
69	32,8	60,1	58,5	57,2	54,5	30,1	31,4	30,9	30,8	830,0	793,9	733,6	643,1	843	756	763	733	12,0	11,5	10,6	9,3	
70	33,1	60,3	58,7	57,3	54,7	30,4	31,7	31,2	31,0	841,6	805,0	743,9	652,3	833	744	752	724	12,0	11,5	10,6	9,3	
Âge de la plantation (années)	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	
Hauteur dominante (m)	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm									
Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)																						
DHP (cm)																						
Volume sans écorce (m <sup>3</sup> /ha)																						
Nombre de tiges (/ha)																						
Accroissement annuel moyen en volume (m <sup>3</sup> /ha)																						

Annexe 28. (suite et fin)

Annexe 29. Table de rendement pour les plantations d'épinette de Norvège avec un IQS<sub>25</sub> de 15 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement : 2 000 plants à l'hectare).

Âge de la plantation (années)	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)			DHP (cm)			Volume sans écorce (m <sup>3</sup> /ha)			Nombre de tiges (/ha)			Accroissement annuel moyen en volume (m <sup>3</sup> /ha)					
		> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm		
8	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	
9	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	
10	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	
11	5,5	2,0	0,1	0,0	0,0	4,7	9,3	.	3,9	0,7	0,1	0,0	1128	11	2	0	0,4	0,1	0,0
12	6,3	4,2	0,5	0,2	0,1	5,7	9,8	.	9,3	2,2	0,2	0,0	1653	70	19	4	0,8	0,2	0,0
13	7,0	6,6	1,7	0,8	0,3	6,7	10,3	12,4	16,3	4,8	0,7	0,0	1874	206	66	16	1,3	0,4	0,1
14	7,7	9,0	3,8	2,0	0,8	7,7	10,8	12,9	24,8	8,6	1,6	0,1	1957	409	154	43	1,8	0,6	0,1
15	8,4	11,5	6,5	3,8	1,7	8,6	11,4	13,3	34,7	13,9	3,3	0,3	1976	639	274	88	2,3	0,9	0,2
16	9,1	13,9	9,5	6,2	3,0	9,5	11,9	13,8	45,8	20,8	5,9	0,7	1964	858	412	149	2,9	1,3	0,4
17	9,8	16,3	12,7	8,8	4,7	10,4	12,4	14,2	58,2	29,3	9,8	1,5	1938	1043	552	220	3,4	1,7	0,6
18	10,5	18,7	15,7	11,6	6,6	11,2	13,0	14,7	71,7	39,5	15,2	2,9	1904	1188	683	299	4,0	2,2	0,8
19	11,2	20,9	18,6	14,3	8,7	11,9	13,5	15,1	86,2	51,3	22,1	5,1	1889	1297	799	379	4,5	2,7	1,2
20	11,8	23,1	21,2	17,1	11,0	12,7	14,0	15,5	101,5	64,5	30,8	8,4	1832	1374	899	458	5,1	3,2	1,5
21	12,5	25,2	23,6	19,7	13,3	13,4	14,5	16,0	117,6	79,1	41,2	12,9	1796	1427	983	533	5,6	3,8	2,0
22	13,1	27,3	25,9	22,1	15,6	14,0	15,0	16,4	134,4	94,8	53,3	18,9	1761	1461	1052	604	6,1	4,3	2,4
23	13,8	29,2	28,0	24,5	17,9	14,7	15,5	16,8	151,7	111,6	66,9	26,5	1727	1481	1108	669	6,6	4,9	2,9
24	14,4	31,1	29,9	26,7	20,2	15,3	16,0	17,2	169,5	129,3	82,0	35,8	1694	1490	1152	727	7,1	5,4	3,4
25	15,0	32,9	31,8	28,8	22,4	15,9	16,5	17,6	187,7	147,7	98,4	46,6	1661	1492	1186	779	7,5	5,9	3,9
26	15,6	34,6	33,5	30,7	24,5	16,4	16,9	18,0	206,3	166,6	115,9	59,1	1630	1488	1212	826	7,9	6,4	4,5
27	16,2	36,2	35,1	32,6	26,5	17,0	17,4	18,4	225,1	186,0	134,3	73,1	1599	1479	1231	866	8,3	6,9	5,0
28	16,8	37,7	36,6	34,3	28,5	17,5	17,8	18,7	244,1	205,8	153,4	88,3	1569	1467	1244	900	8,7	7,3	5,5
29	17,3	39,2	38,1	35,9	30,3	18,0	18,3	19,1	263,2	225,8	173,1	104,7	1540	1452	1252	930	9,1	7,8	6,0
30	17,9	40,6	39,5	37,4	32,1	18,5	18,7	19,5	282,5	245,9	193,1	122,1	1512	1435	1255	954	9,4	8,2	6,4
31	18,5	41,9	40,8	38,9	33,8	19,0	19,1	19,9	301,8	266,1	213,4	140,3	1485	1417	1255	974	9,7	8,6	6,9
32	19,0	43,2	42,0	40,2	35,3	19,4	19,6	20,2	321,2	286,3	233,9	159,1	1458	1397	1252	990	10,0	8,9	7,3
33	19,5	44,4	43,2	41,5	36,8	19,9	20,0	20,6	340,5	306,5	254,4	178,3	1431	1376	1246	1002	10,3	9,3	7,7
34	20,1	45,5	44,3	42,7	38,2	20,3	20,4	20,9	359,8	326,5	274,8	197,8	1406	1355	1238	1011	10,6	9,6	8,1
35	20,6	46,6	45,3	43,8	39,5	20,7	20,8	21,3	379,0	346,4	295,2	217,5	1381	1333	1228	1017	10,8	9,9	8,4
36	21,1	47,6	46,3	44,9	40,7	21,1	21,2	21,7	398,2	366,2	315,3	237,2	1357	1311	1217	1021	11,1	10,2	8,8
37	21,6	48,6	47,3	45,9	41,9	21,5	21,6	22,0	417,2	385,8	335,2	256,8	1333	1289	1204	1022	11,3	10,4	9,1
38	22,1	49,5	48,2	46,8	43,0	21,9	22,0	22,4	436,1	405,1	354,9	276,3	1310	1266	1191	1022	11,5	10,7	9,3

39	22,5	50,4	49,1	47,7	44,0	22,3	22,4	22,7	23,4	454,9	424,3	374,2	295,5	1288	1244	1177	1019	11,7	10,9	9,6	7,6									
40	23,0	51,2	49,9	48,5	45,0	22,7	22,8	23,1	23,7	473,5	443,2	393,3	314,4	1266	1222	1162	1015	11,8	11,1	9,8	7,9									
41	23,5	52,0	50,6	49,3	45,9	23,1	23,2	23,4	24,0	492,0	461,8	412,0	333,1	1245	1200	1146	1010	12,0	11,3	10,0	8,1									
42	24,0	52,8	51,4	50,1	46,7	23,4	23,6	23,7	24,3	510,3	480,2	430,4	351,4	1224	1178	1131	1004	12,1	11,4	10,2	8,4									
43	24,4	53,5	52,1	50,8	47,5	23,8	23,9	24,1	24,6	528,4	498,4	448,4	369,3	1204	1157	1115	996	12,3	11,6	10,4	8,6									
44	24,9	54,2	52,8	51,5	48,3	24,1	24,3	24,4	24,9	546,3	516,2	466,2	386,8	1184	1136	1099	988	12,4	11,7	10,6	8,8									
45	25,3	54,9	53,4	52,1	49,0	24,5	24,7	24,8	25,2	564,0	533,9	483,6	403,9	1165	1115	1083	979	12,5	11,9	10,7	9,0									
46	25,7	55,5	54,0	52,7	49,6	24,8	25,1	25,1	25,5	581,5	551,3	500,6	420,7	1147	1095	1067	970	12,6	12,0	10,9	9,1									
47	26,2	56,1	54,6	53,3	50,2	25,2	25,4	25,4	25,8	598,8	568,4	517,4	437,0	1129	1075	1050	960	12,7	12,1	11,0	9,3									
48	26,6	56,7	55,1	53,9	50,8	25,5	25,8	25,7	26,1	616,0	585,2	533,8	453,0	1112	1055	1034	950	12,8	12,2	11,1	9,4									
49	27,0	57,2	55,7	54,4	51,4	25,8	26,2	26,1	26,4	632,8	601,9	549,9	468,6	1095	1036	1019	940	12,9	12,3	11,2	9,6									
50	27,4	57,7	56,2	54,9	51,9	26,1	26,5	26,4	26,7	649,5	618,2	565,8	483,8	1078	1018	1003	929	13,0	12,4	11,3	9,7									
51	27,8	58,2	56,6	55,3	52,4	26,4	26,9	26,7	27,0	666,0	634,3	581,3	498,7	1062	999	987	918	13,1	12,4	11,4	9,8									
52	28,2	58,7	57,1	55,8	52,9	26,7	27,2	27,0	27,2	682,2	650,2	596,5	513,2	1046	981	972	907	13,1	12,5	11,5	9,9									
53	28,6	59,1	57,5	56,2	53,3	27,0	27,6	27,3	27,5	698,3	665,9	611,5	527,4	1031	964	957	896	13,2	12,6	11,5	10,0									
54	29,0	59,5	57,9	56,6	53,8	27,3	27,9	27,7	27,8	714,1	681,3	626,2	541,3	1016	947	942	885	13,2	12,6	11,6	10,0									
55	29,4	59,9	58,3	57,0	54,2	27,6	28,2	28,0	28,1	729,7	696,4	640,6	554,8	1002	930	928	874	13,3	12,7	11,6	10,1									
56	29,8	60,3	58,7	57,4	54,5	27,9	28,6	28,3	28,4	745,1	711,4	654,8	568,1	988	914	913	863	13,3	12,7	11,7	10,1									
57	30,1	60,7	59,0	57,7	54,9	28,2	28,9	28,6	28,6	760,3	726,1	668,8	581,1	974	898	899	852	13,3	12,7	11,7	10,2									
58	30,5	61,0	59,4	58,0	55,2	28,4	29,3	28,9	28,9	775,3	740,6	682,5	593,8	961	883	885	841	13,4	12,8	11,8	10,2									
59	30,9	61,3	59,7	58,4	55,5	28,7	29,6	29,2	29,2	790,1	754,9	695,9	606,2	948	868	872	830	13,4	12,8	11,8	10,3									
60	31,2	61,7	60,0	58,7	55,8	29,0	29,9	29,5	29,5	804,6	768,9	709,2	618,4	935	853	858	819	13,4	12,8	11,8	10,3									
61	31,6	62,0	60,3	58,9	56,1	29,2	30,2	29,8	29,7	819,0	782,8	722,2	630,3	923	839	845	809	13,4	12,8	11,8	10,3									
62	31,9	62,2	60,6	59,2	56,4	29,5	30,6	30,1	30,0	833,1	796,4	735,0	642,0	911	825	833	798	13,4	12,8	11,9	10,4									
63	32,3	62,5	60,8	59,5	56,7	29,7	30,9	30,4	30,3	847,1	809,9	747,6	653,5	899	812	820	788	13,4	12,9	11,9	10,4									
64	32,6	62,8	61,1	59,7	56,9	30,0	31,2	30,7	30,5	860,9	823,1	760,0	664,7	888	798	808	778	13,5	12,9	11,9	10,4									
65	33,0	63,0	61,3	60,0	57,1	30,2	31,5	31,0	30,8	874,4	836,1	772,2	675,8	877	786	796	768	13,5	12,9	11,9	10,4									
66	33,3	63,2	61,5	60,2	57,4	30,5	31,8	31,3	31,0	887,8	849,0	784,2	686,6	866	773	784	758	13,5	12,9	11,9	10,4									
67	33,6	63,5	61,8	60,4	57,6	30,7	32,1	31,5	31,3	901,0	861,7	796,0	697,3	856	761	773	748	13,4	12,9	11,9	10,4									
68	33,9	63,7	62,0	60,6	57,8	31,0	32,5	31,8	31,6	914,0	874,1	807,6	707,7	845	749	762	738	13,4	12,9	11,9	10,4									
69	34,3	63,9	62,2	60,8	58,0	31,2	32,8	32,1	31,8	926,8	886,4	819,1	718,0	835	737	751	729	13,4	12,8	11,9	10,4									
70	34,6	64,1	62,3	61,0	58,1	31,4	33,1	32,4	32,1	939,4	898,5	830,3	728,1	825	726	740	719	13,4	12,8	11,9	10,4									
Âge de la plantation dominante (années)	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15						
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm					
	Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)												Volume sans écorce (m <sup>3</sup> /ha)						Nombre de tiges (/ha)						Accroissement annuel moyen en volume (m <sup>3</sup> /ha)					
	DHP (cm)			DHP (cm)			DHP (cm)			DHP (cm)			DHP (cm)			DHP (cm)			DHP (cm)			DHP (cm)			DHP (cm)			DHP (cm)		

Annexe 29. (suite et fin)

Annexe 30. Table de rendement pour les plantations d'épinette de Norvège avec un IQS<sub>25</sub> de 16 m et un espacement initial de 2,236 m (densité de reboisement : 2 000 plants à l'hectare).

Âge de la plantation (années)	Hauteur dominante (m)	Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)			DHP (cm)			Volume sans écorce (m <sup>3</sup> /ha)			Nombre de tiges (/ha)			Accroissement annuel moyen en volume (m <sup>3</sup> /ha)				
		> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	> 0 cm	> 9 cm	> 12 cm	> 15 cm	
8	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
9	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	.	.	.	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0	0	0,0	0,0	0,0
10	5,3	0,2	0,0	0,0	0,0	4,1	.	.	0,4	0,1	0,0	0,0	159	0	0	0,0	0,0	0,0
11	6,1	2,4	0,1	0,0	0,0	5,1	9,5	.	5,2	1,0	0,1	0,0	1188	14	3	0,5	0,1	0,0
12	6,8	4,8	0,6	0,2	0,1	6,1	10,0	12,2	11,7	2,8	0,3	0,0	1622	76	20	1,0	0,2	0,0
13	7,6	7,3	1,9	0,9	0,3	7,2	10,6	12,7	19,8	5,8	0,9	0,0	1802	216	70	1,5	0,4	0,1
14	8,4	9,8	4,1	2,2	0,9	8,2	11,1	13,2	29,7	10,3	2,0	0,1	1867	422	160	2,1	0,7	0,1
15	9,1	12,4	7,0	4,1	1,8	9,2	11,7	13,7	41,1	16,5	3,9	0,4	1879	651	283	2,7	1,1	0,3
16	9,9	15,0	10,3	6,6	3,2	10,1	12,3	14,2	53,9	24,4	7,0	0,9	1866	866	422	3,4	1,5	0,4
17	10,6	17,5	13,6	9,4	5,0	11,0	12,9	14,6	68,1	34,3	11,5	1,8	1841	1046	561	4,0	2,0	0,7
18	11,3	20,0	16,8	12,4	7,1	11,9	13,4	15,1	83,6	46,0	17,7	3,4	1811	1185	691	4,6	2,6	1,0
19	12,0	22,4	19,8	15,3	9,3	12,7	14,0	15,6	100,0	59,5	25,7	6,0	1778	1287	805	5,3	3,1	1,4
20	12,7	24,7	22,6	18,2	11,7	13,4	14,6	16,0	117,5	74,6	35,6	9,7	1746	1359	903	5,9	3,7	1,8
21	13,4	26,9	25,2	21,0	14,2	14,1	15,1	16,5	135,7	91,2	47,5	14,9	1714	1407	984	6,5	4,3	2,3
22	14,1	29,1	27,6	23,6	16,6	14,8	15,6	16,9	154,6	109,1	61,3	21,8	1683	1437	1050	7,0	5,0	2,8
23	14,7	31,1	29,8	26,1	19,1	15,5	16,2	17,3	174,2	128,1	76,8	30,5	1652	1454	1104	7,6	5,6	3,3
24	15,4	33,1	31,9	28,4	21,5	16,1	16,7	17,8	194,2	148,1	94,0	41,0	1622	1461	1145	8,1	6,2	3,9
25	16,0	34,9	33,8	30,6	23,8	16,7	17,2	18,2	214,7	168,8	112,5	53,3	1594	1460	1178	8,6	6,8	4,5
26	16,6	36,7	35,6	32,7	26,0	17,3	17,7	18,6	235,5	190,2	132,3	67,5	1565	1454	1202	9,1	7,3	5,1
27	17,2	38,4	37,3	34,6	28,2	17,8	18,1	19,0	256,5	212,0	153,0	83,3	1538	1444	1219	9,5	7,9	5,7
28	17,8	40,1	38,9	36,4	30,3	18,4	18,6	19,4	277,8	234,2	174,6	100,5	1511	1431	1230	9,9	8,4	6,2
29	18,4	41,6	40,4	38,1	32,2	18,9	19,1	19,8	299,1	256,6	196,7	119,0	1485	1415	1237	10,3	8,8	6,8
30	19,0	43,1	41,9	39,7	34,1	19,4	19,5	20,2	320,6	279,1	219,2	138,6	1459	1398	1239	10,7	9,3	7,3
31	19,6	44,5	43,3	41,2	35,8	19,9	20,0	20,6	342,1	301,7	241,9	159,1	1434	1379	1238	11,0	9,7	7,8
32	20,1	45,8	44,6	42,7	37,5	20,3	20,4	21,0	363,6	324,2	264,8	180,1	1410	1359	1234	11,4	10,1	8,3
33	20,7	47,1	45,8	44,0	39,0	20,8	20,9	21,4	385,1	346,6	287,7	201,7	1386	1338	1227	11,7	10,5	8,7
34	21,2	48,3	47,0	45,3	40,5	21,2	21,3	21,7	406,5	368,9	310,5	223,5	1363	1317	1219	12,0	10,9	9,1
35	21,7	49,4	48,1	46,4	41,9	21,7	21,7	22,1	427,8	391,1	333,2	245,5	1340	1295	1209	12,2	11,2	9,5
36	22,3	50,5	49,1	47,6	43,2	22,1	22,2	22,5	449,0	413,0	355,6	267,5	1318	1274	1197	12,5	11,5	9,9
37	22,8	51,5	50,1	48,6	44,4	22,5	22,6	22,9	470,1	434,6	377,7	289,3	1296	1252	1184	12,7	11,7	10,2
38	23,3	52,5	51,1	49,6	45,6	22,9	23,0	23,2	491,0	456,1	399,5	311,0	1275	1230	1171	12,9	12,0	10,5

39	23,8	53,4	52,0	50,5	46,6	23,3	23,4	23,6	24,2	511,7	477,2	420,9	332,4	1254	1208	1157	1014	13,1	12,2	10,8	8,5	
40	24,3	54,3	52,9	51,4	47,6	23,7	23,8	24,0	24,5	532,2	498,1	442,0	353,4	1234	1187	1142	1010	13,3	12,5	11,1	8,8	
41	24,7	55,2	53,7	52,3	48,6	24,1	24,2	24,3	24,8	552,6	518,7	462,7	374,1	1214	1165	1126	1004	13,5	12,7	11,3	9,1	
42	25,2	56,0	54,5	53,1	49,5	24,4	24,6	24,7	25,1	572,7	538,9	483,0	394,3	1195	1144	1111	998	13,6	12,8	11,5	9,4	
43	25,7	56,7	55,2	53,8	50,3	24,8	25,0	25,0	25,4	592,6	558,9	503,0	414,2	1176	1124	1095	990	13,8	13,0	11,7	9,6	
44	26,1	57,4	55,9	54,5	51,1	25,1	25,4	25,4	25,7	612,3	578,6	522,5	433,5	1158	1103	1079	982	13,9	13,2	11,9	9,9	
45	26,6	58,1	56,6	55,2	51,9	25,5	25,8	25,7	26,1	631,8	598,0	541,7	452,5	1140	1083	1063	973	14,0	13,3	12,0	10,1	
46	27,0	58,8	57,2	55,9	52,6	25,8	26,2	26,1	26,4	651,0	617,1	560,4	470,9	1123	1063	1047	963	14,2	13,4	12,2	10,2	
47	27,5	59,4	57,8	56,5	53,2	26,2	26,6	26,4	26,7	670,0	635,9	578,8	488,9	1106	1044	1031	953	14,3	13,5	12,3	10,4	
48	27,9	60,0	58,4	57,0	53,8	26,5	26,9	26,7	27,0	688,7	654,4	596,9	506,5	1090	1025	1016	943	14,3	13,6	12,4	10,6	
49	28,3	60,6	58,9	57,6	54,4	26,8	27,3	27,1	27,3	707,2	672,6	614,6	523,7	1074	1007	1000	933	14,4	13,7	12,5	10,7	
50	28,7	61,1	59,5	58,1	55,0	27,1	27,7	27,4	27,6	725,5	690,5	631,9	540,4	1058	989	985	922	14,5	13,8	12,6	10,8	
51	29,2	61,6	60,0	58,6	55,5	27,4	28,0	27,7	27,9	743,5	708,1	648,9	556,7	1043	971	969	911	14,6	13,9	12,7	10,9	
52	29,6	62,1	60,4	59,1	56,0	27,7	28,4	28,1	28,1	761,2	725,5	665,6	572,6	1028	954	954	900	14,6	14,0	12,8	11,0	
53	30,0	62,6	60,9	59,5	56,5	28,0	28,8	28,4	28,4	778,7	742,6	682,0	588,2	1014	937	940	889	14,7	14,0	12,9	11,1	
54	30,4	63,0	61,3	59,9	56,9	28,3	29,1	28,7	28,7	796,0	759,4	698,0	603,3	1000	921	925	878	14,7	14,1	12,9	11,2	
55	30,7	63,4	61,7	60,4	57,3	28,6	29,5	29,0	29,0	813,0	776,0	713,8	618,2	986	905	911	867	14,8	14,1	13,0	11,2	
56	31,1	63,8	62,1	60,7	57,7	28,9	29,8	29,4	29,3	829,8	792,2	729,3	632,7	973	889	897	856	14,8	14,1	13,0	11,3	
57	31,5	64,2	62,5	61,1	58,1	29,2	30,2	29,7	29,6	846,4	808,3	744,5	646,8	960	874	883	845	14,8	14,2	13,1	11,3	
58	31,9	64,6	62,9	61,5	58,5	29,5	30,5	30,0	29,9	862,7	824,1	759,4	660,7	947	859	869	834	14,9	14,2	13,1	11,4	
59	32,3	64,9	63,2	61,8	58,8	29,7	30,9	30,3	30,2	878,8	839,6	774,1	674,2	935	845	856	823	14,9	14,2	13,1	11,4	
60	32,6	65,3	63,5	62,1	59,1	30,0	31,2	30,6	30,4	894,6	854,9	788,5	687,5	923	831	843	813	14,9	14,2	13,1	11,5	
61	33,0	65,6	63,8	62,4	59,4	30,3	31,5	30,9	30,7	910,2	870,0	802,6	700,5	912	817	831	802	14,9	14,3	13,2	11,5	
62	33,3	65,9	64,1	62,7	59,7	30,5	31,9	31,2	31,0	925,6	884,8	816,6	713,2	900	803	818	792	14,9	14,3	13,2	11,5	
63	33,7	66,2	64,4	63,0	60,0	30,8	32,2	31,5	31,3	940,8	899,4	830,2	725,7	889	790	806	782	14,9	14,3	13,2	11,5	
64	34,0	66,4	64,7	63,2	60,2	31,0	32,5	31,8	31,5	955,7	913,8	843,7	738,0	878	778	794	771	14,9	14,3	13,2	11,5	
65	34,4	66,7	64,9	63,5	60,5	31,3	32,9	32,1	31,8	970,4	927,9	856,9	750,0	868	765	782	761	14,9	14,3	13,2	11,5	
66	34,7	66,9	65,2	63,7	60,7	31,5	33,2	32,4	32,1	984,9	941,9	870,0	761,7	857	753	771	752	14,9	14,3	13,2	11,5	
67	35,1	67,2	65,4	63,9	60,9	31,8	33,5	32,7	32,3	999,2	955,6	882,8	773,3	847	742	760	742	14,9	14,3	13,2	11,5	
68	35,4	67,4	65,6	64,1	61,1	32,0	33,8	33,0	32,6	1013,3	969,1	895,4	784,6	837	730	749	732	14,9	14,3	13,2	11,5	
69	35,7	67,6	65,8	64,3	61,3	32,2	34,1	33,3	32,9	1027,1	982,4	907,8	795,8	828	719	738	723	14,9	14,2	13,2	11,5	
70	36,0	67,8	66,0	64,5	61,5	32,5	34,5	33,6	33,1	1040,8	995,5	920,0	806,7	818	708	728	714	14,9	14,2	13,1	11,5	
Âge de la plantation (années)	> 0	> 9	> 12	> 15	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	> 0	> 9	> 12	> 15	
Hauteur dominante (m)	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
	Surface terrière (m²/ha)			DHP (cm)			Volume sans écorce (m³/ha)			Nombre de tiges (/ha)			Accroissement annuel moyen en volume (m³/ha)									

Annexe 30. (suite et fin)



L'étude de la croissance et du rendement des plantations menée par la Direction de la recherche forestière procure des informations essentielles à un aménagement efficace des ressources forestières du Québec. Les résultats qui découlent de ces recherches peuvent servir, notamment, à élaborer des plans d'aménagement forestier, à déterminer la possibilité annuelle de coupe, à mener diverses études économiques ou encore, à choisir les essences et les densités de reboisement, de même que les traitements sylvicoles appropriés. Un tarif de cubage, un modèle servant à estimer l'indice de qualité de station, des tables de rendement et des modèles de croissance sont les outils présentés dans ce mémoire. La mise à jour de ces outils révèle la forte productivité de l'épinette de Norvège au Québec, laquelle est fortement supérieure à celle de nos épinettes indigènes.