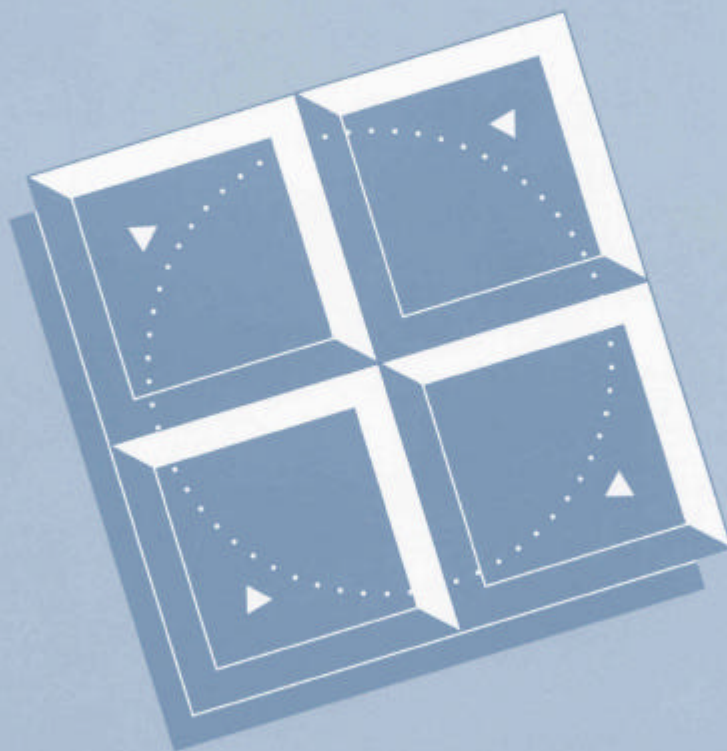


Mémoire de recherche forestière n° 125

**Productivité de sapinières boréales
de seconde venue en relation avec
les caractéristiques des stations**

par S. TREMBLAY
J. BÉGIN
et L. BÉLANGER



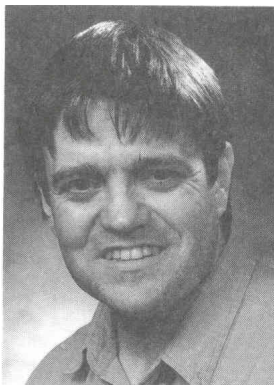
Stéphane TREMBLAY est détenteur d'un baccalauréat en aménagement des ressources forestières décerné par l'Université Laval en 1992. Il obtient en 1996 un diplôme de maître ès sciences de ce même établissement. Entre 1992 et 1995, il a occupé en alternance un poste d'assistant de recherche en croissance et productivité des forêts et de professionnel de recherche en aménagement intégré à l'Université Laval. Depuis 1995, il est chargé de projet en aménagement et sylviculture des sapinières et pessières noires.



Jean BÉGIN obtient son diplôme de bachelier ès sciences appliquées (génie forestier) de la Faculté de foresterie et de géodésie de l'Université Laval en 1981. En 1985, cette même université lui décerne le diplôme de maître ès sciences forestières. Poursuivant ses études en Suisse, il obtient en 1991 un doctorat ès sciences techniques de l'École polytechnique fédérale de Zurich. Il travaille à titre de professeur de dendrométrie à l'École des sciences forestières de l'Université de Moncton à Edmundston de 1986 à 1990. Depuis, il travaille à titre de professeur de dendrométrie à la Faculté de foresterie et de géomatique de l'Université Laval et ses activités de recherche portent sur la croissance et la productivité des forêts.



Louis BÉLANGER est gradué en biologie de l'Université Laval depuis 1977 et ingénieur forestier depuis sa maîtrise en foresterie en 1982. Depuis 1986, il détient un *Ph.D.* en aménagement et sylviculture de l'Université Laval, où il occupe depuis ce temps un poste de professeur en aménagement intégré des forêts. Ses activités de recherche portent sur le développement de stratégies d'aménagement durable pour les forêts du Québec et plus particulièrement sur l'aménagement des sapinières boréales.



Chacun des *Mémoires*, des *Notes* et des autres rapports publiés par la Recherche forestière est révisé par un comité *ad hoc* d'au moins trois membres recrutés aussi bien à l'intérieur du Ministère que dans le milieu universitaire, la fonction publique du Canada ou les autres milieux de la recherche. Les responsables de la Recherche forestière remercient les scientifiques qui ont accepté bénévolement de revoir le texte présenté ici et de participer ainsi à la diffusion des résultats des recherches menées au ministère des Ressources naturelles.

Les publications de la Recherche forestière sont produites et diffusées à même les budgets de recherche et de développement, comme autant d'étapes essentielles à la réalisation de chaque projet ou expérience. En conséquence, ces documents sont, par définition, à *tirage limité* et à *diffusion restreinte*. Adresser toute demande à la :

Publications
Direction de la recherche forestière
Ministère des Ressources naturelles du Québec
2700, rue Einstein
SAINTE-FOY (Québec)
Canada G1P 3W8

**Productivité de sapinières boréales de seconde venue
en relation avec les caractéristiques des stations**

**Productivité de sapinières boréales de seconde venue
en relation avec les caractéristiques des stations***

par

Stéphane TREMBLAY, ing.f, M.Sc.

Jean BÉGIN, ing.f., D.Sc.

et

Louis BÉLANGER, ing.f., *Ph.D.*

Mémoire de recherche forestière n° 125

Gouvernement du Québec
Ministère des Ressources naturelles
Direction de la recherche forestière
1997

* Version légèrement modifiée du mémoire présenté en mars 1996 par Stéphane Tremblay à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval pour l'obtention du grade de maître ès sciences (M.Sc.).

Ce texte est un rapport partiel du projet de recherche n° 0901-1280 : « Analyse de la croissance des forêts mélangées boréales à l'aide des aires d'observation permanentes du Centre de foresterie des Laurentides ».

RN97-3013

ISBN 2-550-31167-1

ISSN 1183-3912

Dépôt légal 1997

Bibliothèque nationale du Québec

Bibliothèque nationale du Canada

© 1996 Stéphane Tremblay

© 1997 Gouvernement du Québec

Avant-propos

Cette recherche a été rendue possible grâce à la participation financière du ministère des Ressources naturelles du Québec et au prêt des données par le Centre de foresterie des Laurentides. Les auteurs remercient pour leur collaboration Mme Lucie Bertrand, M. Denis Thibault et M. Gaétan Daigle du Service de consultations statistiques, et M. Marie-Josée Blais, M. Marc Beaudoin, Mme Geneviève Labrecque et M. Vincent Demers pour leur aide précieuse lors de la réalisation des travaux de terrain.

Résumé

La productivité de sapinières boréales de seconde venue protégées efficacement contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette (TBE) a été modélisée à partir de données provenant de placettes semi-permanentes remesurées périodiquement depuis 1954 et des modèles de production de Sullivan et Clutter. Les équations de production obtenues permettent de prédire de façon précise l'évolution de la surface terrière totale et des volumes marchand et total. Ces équations sont applicables à des peuplements dont l'âge varie de 10 à 56 ans, dont la surface terrière totale est de 1 à 59 m²/ha et dont l'indice de qualité de station (IQS) est de 9,6 à 19,4 m (à 50 ans à hauteur de poitrine). Du point de vue statistique, les trois équations ont une erreur de prédiction et un coefficient de variation inférieurs à 10 % et un coefficient de détermination qui se situe autour de 0,85. Des équations similaires mais sans la variable IQS ont été calibrées, à partir du regroupement des phases écologiques en groupes écoforestiers, sur la base de leurs caractéristiques écologiques et de leur IQS moyen. Ces trois groupes écoforestiers sont: 1) les stations moyennes riches avec drainage oblique dont l'IQS est supérieur à 15 m, 2) les stations moyennes dont l'IQS est de 13,5 à 15 m et 3) les stations humides ou sur dépôts minces dont l'IQS est inférieur à 13,5 m. Les classes de qualité de station ainsi obtenues s'apparentent à celles définies à la Forêt Montmorency et mettent aussi en évidence la nécessité de reconnaître une classe de plus que celles proposées par Vézina et Linteau. Du point de vue écologique, la présence de drainage oblique et l'épaisseur du dépôt ressortent comme étant des éléments qui influencent fortement la croissance des arbres. Les équations calibrées pour chacun des groupes permettent de prédire l'évolution des caractéristiques dendrométriques avec une bonne précision. Les courbes tracées à partir de toutes ces équations peuvent être utilisées sur le terrain pour calculer la surface terrière totale et les volumes futurs à l'échelle du peuplement. De plus, les courbes des groupes écoforestiers peuvent être employées dans des peuplements pour lesquels il est difficile ou même impossible de déterminer l'IQS, comme s'est le cas dans de jeunes peuplements. Les résultats de cette étude remettent en question les âges de révolution présentement employés en période endémique qui sont généralement de 50 à 55 ans. Finalement, les résultats révèlent aussi qu'il serait avantageux de conserver les gaulis lors de la coupe puisqu'une densité initiale supérieure engendre, dans tous les peuplements observés, une diminution de l'âge de révolution et une plus grande production totale.

Mots-clés : sapinière boréale, productivité, seconde venue, caractéristique de station.

Abstract

Productivity of second growth boreal balsam fir forests in relation with site characters. *The productivity of second growth boreal balsam fir forests protected from spruce budworm (SBW) was modelled using data from semi-permanent plots periodically measured since 1954 and using Sullivan and Clutter's production models. The new production equations gave precise predictions of the evolution of total basal area and of total and merchantable volume. These equations are applicable to stands where age varies from 10 to 56 years, where total basal area varies from 1 to 59 m²/ha and where site index (SI) ranges from 9.6 to 19.4 m at 50 years, at breast height. Statistically, the three equations had a prediction error and a coefficient of variation less than 10 % and a coefficient of determination around 0.85. Similar equations without SI were calibrated by regrouping ecological phases into ecoforest groups based on their ecological characteristics and their mean SI. The three ecoforest groups were: 1) rich mesic sites with seepage where SI was greater than 15 m, 2) mesic sites where SI was between 13.5 and 15 m and 3) wet sites or on thin deposits where SI was less than 13.5 m. The site index classes thus obtained were similar to those defined at the Forêt Montmorency and they also highlighted the need to recognize one class more than those proposed by Vézina et Linteau. From the ecological point of view, seepage and deposit thickness showed up as being strong influences on tree growth. The calibrated equations for each of the groups permitted the prediction of the evolution of mensuration variables with good precision. The curves defined by all these equations can be used in the field to calculate future total basal area and volumes. Furthermore, the curves of the ecoforest groups can be used in stands for which it is difficult or even impossible to determine SI (e.g. young stands). The results of this study challenge the accepted rotation length presently used during an endemic period, generally between 50 and 55 years. Finally, the results also revealed that it would be advantageous to conserve saplings during a cutover because a high initial density decreased the rotation length and generated a larger total production in all the observed stands.*

Key words : boreal fir stand, productivity, second growth, site character.

Table des matières

Avant-propos	v
Résumé	vi
<i>Abstract</i>	vi
Liste des tableaux	xiii
Liste des figures	xv
Introduction	1
Chapitre premier	
Dispositif étudié	3
Chapitre deux	
Méthodologie	5
2.1. Caractéristiques des peuplements	5
2.1.1 Données	5
2.1.2 Traitement des données dendrométriques	5
2.1.2.1. Analyses de tiges	5
2.1.2.2. Indices de qualité de station	5
2.1.2.3. Calcul des volumes des placettes	7
– Calcul du volume total	7
– Calcul du volume marchand	9

2.1.3. Impact de la tordeuse des bourgeons de l'épinette	9	3.2.2. Modélisation de la production avec les groupes écoforestiers	27
2.2. Caractéristiques permanentes	9	3.2.2.1. Surface terrière totale	27
2.2.1. Phases écologiques et groupes écoforestiers	9	3.2.2.2. Volume marchand	27
2.3. Modélisation de la production	10	3.2.2.3. Volume total	34
2.3.1. Modèles de Sullivan et Clutter	10	Chapitre quatre	
2.3.2. Modification des modèles de Sullivan et Clutter	11	Discussion	39
2.3.2.1. Modèles avec l'IQS	11	4.1. Les modèles	39
2.3.2.2. Modèles pour les groupes écoforestiers	12	4.2. Pertes de croissance en volume et mortalité	39
2.4. Traitement des données	12	4.3. Modèles avec l'IQS	39
2.4.1. Modélisation de la production	12	4.3.1. Équations et courbes avec l'IQS	39
2.4.2. Regroupement des phases écologiques en groupes écoforestiers	12	4.3.1.1. Surface terrière totale	40
2.4.3. Validation des modèles	13	4.3.1.2. Volume marchand	40
Chapitre trois		4.3.1.3. Volume total	40
Résultats	15	4.3.2. Validation des tables de production existantes	40
3.1. Modèles avec l'IQS	15	4.3.2.1. Surface terrière totale	40
3.1.1. Modélisation de la production avec l'IQS	13	4.3.2.2. Volumes marchand et total	40
3.1.1.1. Surface terrière totale	13	4.4. Modèles pour les groupes éco-forestiers	41
3.1.1.2. Volume marchand	13	4.4.1. Phases écologiques et groupes écoforestiers	41
3.1.1.3. Volume total		4.4.2. Équations et courbes des groupes écoforestiers	42
3.1.2. Validation des tables de production existantes	15	4.4.2.1. Surface terrière totale	42
3.1.2.1. Surface terrière totale	15	4.4.2.2. Volume marchand	42
3.1.2.2. Volume marchand	25	4.4.2.3. Volume total	42
3.1.2.3. Volume total	25	Chapitre cinq	
3.2. Modèles pour les groupes écoforestiers	25	Conséquences pour l'aménagement	43
3.2.1. Regroupement des phases écologiques en groupes écoforestiers	25	Conclusion	45
		Bibliographie	47

Annexes	53	Annexe 12. Production et accroissement d'une sapinière boréale de seconde venue d'IQS de 10 m (Ker 1991) et ayant une surface terrière totale de 5 m ² /ha 10 ans après la coupe	60
Annexe 1. Répartition par classe de diamètre et par essence des arbres renversés lors de l'inventaire réalisé en 1991	55	Annexe 13. Production et accroissement d'une sapinière boréale de seconde venue d'IQS de 10 m (Ker 1991) et ayant une surface terrière totale de 10 m ² /ha 10 ans après la coupe	61
Annexe 2. Répartition par classe de diamètre et par essence des arbres morts lors de l'inventaire réalisé en 1991	55	Annexe 14. Production et accroissement d'une sapinière boréale de seconde venue d'IQS de 10 m (Ker 1991) et ayant une surface terrière totale de 15 m ² /ha 10 ans après la coupe	61
Annexe 3. Répartition par classe de diamètre et par essence des arbres morts lors de l'inventaire réalisé en 1978	56	Annexe 15. Production et accroissement d'une sapinière boréale de seconde venue d'IQS de 10 m (Ker 1991) et ayant une surface terrière totale de 20 m ² /ha 10 ans après la coupe	62
Annexe 4. Production et accroissement d'une sapinière boréale de seconde venue d'IQS de 16 m (Ker 1991) et ayant une surface terrière totale de 5 m ² /ha 10 ans après la coupe	56	Annexe 16. Caractéristiques statistiques des équations du volume la surface terrière totale, du volume marchand et du volume total n'utilisant pas l'indice de qualité de station comme variable explicative	62
Annexe 5. Production et accroissement d'une sapinière boréale de seconde venue d'IQS de 16 m (Ker 1991) et ayant une surface terrière totale de 10 m ² /ha 10 ans après la coupe	57	Annexe 17. Production et accroissement d'une sapinière boréale riche de seconde venue ayant une surface terrière totale de 5 m ² /ha 10 ans après la coupe	63
Annexe 6. Production et accroissement d'une sapinière boréale de seconde venue d'IQS de 16 m (Ker 1991) et ayant une surface terrière totale de 15 m ² /ha 10 ans après la coupe	57	Annexe 18. Production et accroissement d'une sapinière boréale riche de seconde venue ayant une surface terrière totale de 10 m ² /ha 10 ans après la coupe	63
Annexe 7. Production et accroissement d'une sapinière boréale de seconde venue d'IQS de 16 m (Ker 1991) et ayant une surface terrière totale de 20 m ² /ha 10 ans après la coupe	58	Annexe 19. Production et accroissement d'une sapinière boréale riche de seconde venue ayant une surface terrière totale de 15 m ² /ha 10 ans après la coupe	64
Annexe 8. Production et accroissement d'une sapinière boréale de seconde venue d'IQS de 13 m (Ker 1991) et ayant une surface terrière totale de 5 m ² /ha 10 ans après la coupe	58	Annexe 20. Production et accroissement d'une sapinière boréale riche de seconde venue ayant une surface terrière totale de 20 m ² /ha 10 ans après la coupe	64
Annexe 9. Production et accroissement d'une sapinière boréale de seconde venue d'IQS de 13 m (Ker 1991) et ayant une surface terrière totale de 10 m ² /ha 10 ans après la coupe	59	Annexe 21. Production et accroissement d'une sapinière boréale moyenne de seconde venue ayant une surface terrière totale de 5 m ² /ha 10 ans après la coupe	65
Annexe 10. Production et accroissement d'une sapinière boréale de seconde venue d'IQS de 13 m (Ker 1991) et ayant une surface terrière totale de 15 m ² /ha 10 ans après la coupe	59	Annexe 22. Production et accroissement d'une sapinière boréale moyenne de seconde venue ayant une surface terrière totale de 7,5 m ² /ha 10 ans après la coupe	65
Annexe 11. Production et accroissement d'une sapinière boréale de seconde venue d'IQS de 13 m (Ker 1991) et ayant une surface terrière totale de 20 m ² /ha 10 ans après la coupe	60		

Annexe 23. Production et accroissement d'une sapinière boréale moyenne de seconde venue ayant une surface terrière totale de 10 m²/ha 10 ans après la coupe 66

Annexe 24. Production et accroissement d'une sapinière boréale moyenne de seconde venue ayant une surface terrière totale de 12,5 m²/ha 10 ans après la coupe 66

Annexe 25. Production et accroissement d'une sapinière boréale pauvre de seconde venue ayant une surface terrière totale de 2,5 m²/ha 10 ans après la coupe 67

Annexe 26. Production et accroissement d'une sapinière boréale pauvre de seconde venue ayant une surface terrière totale de 5 m²/ha 10 ans après la coupe 67

Annexe 27. Production et accroissement d'une sapinière boréale pauvre de seconde venue ayant une surface terrière totale de 7,5 m²/ha 10 ans après la coupe 68

Annexe 28. Production et accroissement d'une sapinière boréale pauvre de seconde venue ayant une surface terrière totale de 10 m²/ha 10 ans après la coupe 68

Annexe 29. Caractéristiques statistiques de l'équation de la surface terrière totale pour les groupes écoforestiers utilisant l'indice de qualité de station comme variable explicative 69

Annexe 30. Caractéristiques statistiques de l'équation du volume marchand pour les groupes écoforestiers utilisant l'indice de qualité de station comme variable explicative 69

Annexe 31. Caractéristiques statistiques de l'équations du volume total pour les groupes écoforestiers utilisant l'indice de qualité de station comme variable explicative 70

Liste des tableaux

Tableau 1	Nombre total de tiges (1 cm+) toutes essences confondues (tiges/ha) des placettes selon le temps écoulé depuis la coupe (années)	6
Tableau 2	Nombre de tiges marchandes (9 cm+) toutes essences confondues (tiges/ha) des placettes selon le temps écoulé depuis la coupe (années)	6
Tableau 3	Surface terrière totale (1 cm+) toutes essences confondues (m^2/ha) des placettes selon le temps écoulé depuis la coupe (années)	6
Tableau 4	Volume total (1 cm+) toutes essences confondues (m^3/ha) des placettes selon le temps écoulé depuis la coupe (années)	7
Tableau 5	Volume marchand (9 cm+) toutes essences confondues (m^3/ha) des placettes selon le temps écoulé depuis la coupe (années)	9
Tableau 6	Liste et caractéristiques des phases écologiques présentes dans le dispositif de rivière Matane	10
Tableau 7	Caractéristiques statistiques des équations de la surface terrière totale, du volume marchand et du volume total ainsi que des variables utilisées dans chacune	17

Tableau 8	Indice de qualité de station moyen (hauteur à 50 ans) de chaque phase écologique	26
Tableau 9	Analyse de variance des indices de qualité de station en fonction des phases écologiques	26
Tableau 10	Groupeement des phases écologiques avec le test de Duncan	26
Tableau 11	Description des groupes écoforestiers et classes de qualité de station du dispositif de la rivière Matane	28
Tableau 12	Analyse de variance des indices de qualité de station en fonction des groupes écoforestiers	28
Tableau 13	Indices de qualité de station moyen (hauteur à 50 ans) de chacun des groupes écoforestiers et de chaque classe de qualité de station	28
Tableau 14	Surface terrière totale (m ² /ha) des groupes écoforestiers observée 10 ans après la coupe	32
Tableau 15	Caractéristiques statistiques de l'équation de la surface terrière totale pour le groupe des sapinières riches, moyennes et pauvres	32
Tableau 16	Caractéristiques statistiques de l'équation du volume marchand pour le groupe des sapinières riches, moyennes et pauvres	32
Tableau 17	Caractéristiques statistiques de l'équation du volume total pour le groupe des sapinières riches, moyennes et pauvres	37

Liste des figures

Figure 1	Localisation du dispositif étudié	4
Figure 2	Accroissement en diamètre à hauteur de poitrine de 20 sapins baumiers provenant en nombre égal du bloc II et du bloc III du dispositif de la rivière Matane	8
Figure 3	Volume total de chaque tige de sapin baumier en fonction du DHP et de la période	8
Figure 4	Évolution de la surface terrière totale toutes essences en fonction du temps écoulé et de l'indice de qualité de station pour une surface terrière totale de 8,5 m ² /ha 10 ans après la coupe	16
Figure 5	Évolution de la surface terrière totale toutes essences en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe pour un indice de qualité de station de 14,9 m	16
Figure 6	Évolution du volume marchand toutes essences en fonction du temps écoulé et de l'indice de qualité de station pour une surface terrière totale de 8,5 m ² /ha 10 ans après la coupe	18
Figure 7	Évolution du volume marchand toutes essences en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe pour un indice de qualité de station de 14,9 m	18

- Figure 8** Accroissements annuels moyens (AAM) et périodiques (AAP) du volume marchand toutes essences en fonction du temps écoulé et de l'indice de qualité de station pour une surface terrière totale de $8,5 \text{ m}^2/\text{ha}$ 10 ans après la coupe 19
- Figure 9** Évolution du volume total toutes essences en fonction du temps écoulé et de l'indice de qualité de station pour une surface terrière totale de $8,5 \text{ m}^2/\text{ha}$ 10 ans après la coupe 19
- Figure 10** Évolution du volume total toutes essences en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe pour un indice de qualité de station de 14,9 m 20
- Figure 11** Comparaison des courbes de la surface terrière totale toutes essences en fonction du temps écoulé et de l'indice de qualité de station pour une surface terrière totale de $8,5 \text{ m}^2/\text{ha}$ 10 ans après la coupe, avec les courbes correspondantes de Boudoux (1978) 20
- Figure 12** Comparaison des courbes de la surface terrière totale toutes essences en fonction du temps écoulé et de l'indice de qualité de station pour une surface terrière totale de $8,5 \text{ m}^2/\text{ha}$ 10 ans après la coupe, avec les courbes correspondantes de Vézina et Linteau (1968) 21
- Figure 13** Comparaison des courbes de la surface terrière totale toutes essences en fonction du temps écoulé et de l'indice de qualité de station pour une surface terrière totale de $7 \text{ m}^2/\text{ha}$ 10 ans après la coupe, avec les courbes correspondantes de Bolghari et Vézina (1974) 21
- Figure 14** Comparaison des courbes de la surface terrière totale toutes essences en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe pour un indice de qualité de station de 16 m, avec les courbes correspondantes de Bertrand *et al.* (1992) 22
- Figure 15** Comparaison des courbes du volume marchand toutes essences en fonction du temps écoulé et de l'indice de qualité de station pour une surface terrière totale de $8,5 \text{ m}^2/\text{ha}$ 10 ans après la coupe, avec les courbes correspondantes de Boudoux (1978) 22
- Figure 16** Comparaison des courbes du volume marchand toutes essences en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe pour un indice de qualité de station de 16 m, avec les courbes correspondantes de Bertrand *et al.* (1992) 23
- Figure 17** Comparaison des courbes du volume marchand toutes essences en fonction du temps écoulé et de l'indice de qualité de station pour une surface terrière totale de $8,5 \text{ m}^2/\text{ha}$ 10 ans après la coupe avec les courbes correspondantes de Vézina et Linteau (1968) 23
- Figure 18** Comparaison des courbes du volume marchand toutes essences en fonction du temps écoulé et de l'indice de qualité de station pour une surface terrière totale de $7 \text{ m}^2/\text{ha}$ 10 ans après la coupe, avec les courbes correspondantes de Bolghari et Vézina (1974) 24
- Figure 19** Comparaison des courbes du volume total toutes essences en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe pour un indice de qualité de station de 16 m, avec les courbes correspondantes de Bertrand *et al.* (1992) 24
- Figure 20** Comparaison des courbes du volume total toutes essences en fonction du temps écoulé et de l'indice de qualité de station pour une surface terrière totale de $8,5 \text{ m}^2/\text{ha}$ 10 ans après la coupe avec les courbes correspondantes de Vézina et Linteau (1968) 25

Figure 21	Comparaison des courbes du volume total toutes essences en fonction du temps écoulé et de l'indice de qualité de station pour une surface terrière totale de 7 m ² /ha 10 ans après la coupe, avec les courbes correspondantes de Bolghari et Vézina (1974)	25	Figure 29	Évolution du volume marchand toutes essences du groupe des sapinières pauvres en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe	34
Figure 22	Évolution de la surface terrière totale toutes essences en fonction du temps écoulé et du groupe écoforestier pour une surface terrière totale de 8,5 m ² /ha 10 ans après la coupe	30	Figure 30	Accroissements annuels moyens (AAM) et périodiques (AAP) du volume marchand toutes essences du groupe des sapinières riches en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe	35
Figure 23	Évolution de la surface terrière totale toutes essences du groupe des sapinières riches en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe	30	Figure 31	Accroissements annuels moyens (AAM) et périodiques (AAP) du volume marchand toutes essences du groupe des sapinières moyennes en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe	35
Figure 24	Évolution de la surface terrière totale toutes essences du groupe des sapinières moyennes en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe	31	Figure 32	Accroissements annuels moyens (AAM) et périodiques (AAP) du volume marchand toutes essences du groupe des sapinières pauvres en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe	36
Figure 25	Évolution de la surface terrière totale toutes essences du groupe des sapinières pauvres en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe	31	Figure 33	Évolution du volume total toutes essences en fonction du temps écoulé et du groupe écoforestier pour une surface terrière totale de 8,5 m ² /ha 10 ans après la coupe	37
Figure 26	Évolution du volume marchand toutes essences en fonction du temps écoulé et du groupe écoforestier pour une surface terrière totale de 8,5 m ² /ha 10 ans après la coupe	33	Figure 34	Évolution du volume total toutes essences du groupe des sapinières riches en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe	38
Figure 27	Évolution du volume marchand toutes essences du groupe des sapinières riches en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe	33	Figure 35	Évolution du volume total toutes essences du groupe des sapinières moyennes en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe	38
Figure 28	Évolution du volume marchand toutes essences du groupe des sapinières moyennes en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe	34	Figure 36	Évolution du volume total toutes essences du groupe des sapinières pauvres en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe.	39

Introduction

Le sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill.) est une essence très importante au Québec. Les sapinières boréales couvrent près de 118 700 km² (Parent 1994). Si l'on ajoute à cela les quelque 86 500 km² de peuplements mélangés à l'intérieur desquels on retrouve du sapin baumier, on obtient une superficie totale de l'ordre de 205 200 km² (Parent 1994). Par rapport à l'ensemble du territoire forestier québécois, cela représente 26,1 %. En termes de volume, le sapin baumier est un réservoir très important de matière ligneuse pour l'industrie forestière avec ses 766 890 000 m³. Cela correspond à environ 22,2 % du volume résineux sur pied contenu dans les forêts résineuses et mélangées que l'on retrouve dans la zone d'inventaire intensif du Québec (au sud du 52^e parallèle) (Parent 1994). La grande majorité de ce volume se trouve dans la partie habitée du Québec ou à proximité, jouant ainsi un rôle de premier ordre dans l'approvisionnement en bois des usines de transformation. À la lumière de ces observations, il apparaît primordial d'avoir une très bonne connaissance du rendement lignicole de la sapinière boréale.

Ce même raisonnement est peut-être à l'origine des études ayant mené à la réalisation des différentes tables de production : les tables de rendement normales de Vézina et Linteau (1968), les tables empiriques de Boudoux (1978), les tables de rendement à densité variable de Bolghari et Vézina (1974), les tables de production totale pour des peuplements purs au stade de plein boisement de Zarnovican et Vézina (1985) et les tables à densité variable de Bertrand *et al.* (1992).

Parmi ces tables, ce sont celles de Boudoux (1978) qui sont utilisées par le ministère des Ressources naturelles du Québec afin de déterminer la possibilité forestière des sapinières boréales. Construites à partir de données provenant de placettes-échantillons temporaires réparties sur l'ensemble du territoire québécois, ces tables généralisent pour tout le Québec les rendements obtenus en faisant abstrac-

tion des domaines écoclimatiques. Comme l'exprime le rapport du comité sur la croissance et le rendement (CONSEIL DE LA RECHERCHE FORESTIÈRE 1992), l'utilisation de ces tables peut amener certaines inadéquations dans le contexte de peuplements purs et équiens. L'utilisation de tables de production régionales est alors un moyen adéquat pour pallier à cette situation.

C'est dans cette optique que cette étude vise en premier lieu à établir des tables de production régionales pour le sapin baumier. L'approche utilisée, par peuplement entier, prend appui sur les travaux de Sullivan et Clutter (1972) pour des peuplements équiens de pin à l'encens (*Pinus taeda* L.). Les équations employées permettent de prédire la production en fonction de l'âge, de la surface terrière et de l'indice de qualité de station. De plus, elles sont, de l'avis de Davis et Johnson (1987), parmi les mieux adaptées à l'analyse de peuplements entiers. Après que Burkhart et Sprinz (1984) ainsi que Reed *et al.* (1986) les aient utilisées avec succès dans des plantations, Bertrand *et al.* (1992) ont démontré leur efficacité pour prédire l'évolution de caractéristiques dendrométriques de sapinières boréales de seconde venue. Découlant du premier objectif, cette étude vise dans un deuxième temps à valider les tables québécoises en les comparant aux tables de production régionales obtenues.

Une autre réalité concernant l'estimation des volumes présents ou futurs sur les terres publiques au Québec vient du fait que les calculs sont réalisés à partir de strates cartographiques regroupées, pour lesquelles il est souvent difficile d'établir précisément l'indice de qualité de station. Pour s'adapter à cette situation, nous proposons d'utiliser l'information sur les caractéristiques permanentes du milieu fournies par la carte écologique. Dans cette optique, on regroupe les phases écologiques en groupes écoforestiers afin de ne pas avoir besoin de recourir aux indices de qualité de station lors de l'estimation du

rendement et de la croissance des peuplements. Ce faisant, on établit un lien direct entre la production et le milieu de croissance, répondant ainsi à l'une des recommandations du Conseil de la recherche forestière du Québec (1992). , Selon l'avis du comité sur la croissance et le rendement des forêts (CRFQ 1992), la connaissance du milieu forestier passe par l'analyse en commun des composantes biophysiques et dendrométriques des stations. En effet, en l'absence de références aux caractéristiques permanentes des stations, il est difficile de prédire avec exactitude la croissance et le rendement et d'identifier les territoires les plus productifs.

Le dernier objectif visé par cette étude est de répondre à ce besoin, du moins partiellement, en utilisant les groupes écoforestiers pour modéliser la production de matière ligneuse à partir des caractéristiques permanentes du milieu. Dans cette optique, les phases écologiques seront regroupées en groupes écoforestiers et ces groupes serviront de substitut aux valeurs d'indices de qualité de station pour estimer le rendement et la croissance des peuplements. À cette fin, une étude de la correspondance entre les indices de qualité de station et les phases écologiques a préalablement été effectuée pour vérifier l'hypothèse sous-jacente à cet objectif, à savoir que les phases écologiques peuvent exprimer la capacité productive de la station. Les équations employées à cette étape ont été dérivées directement de celles de Sullivan et Clutter (1972) et sont similaires à celles utilisées dans les travaux de Bertrand *et al.* (1992). Les modèles calibrés permettront de prédire la production en fonction des phases écologiques puisque ces dernières sont regroupées à l'intérieur de l'un des groupes écoforestiers. Dès lors, il devient possible d'évaluer la production des peuplements à partir des données dendrométriques des strates regroupées et des phases écologiques cartographiées.

Chapitre premier

Dispositif étudié

Le dispositif utilisé est connu sous le nom d'*Aire d'observation de la rivière Matane* et fait partie d'un réseau de 15 aires d'inventaire permanent établies au Québec (Pfalzgraf 1970). Il a été installé à la suite du lancement en 1947, par le ministère des Affaires du Nord et des Ressources nationales, d'un projet de recherche à long terme visant à étudier l'évolution de peuplements forestiers après la coupe (Pfalzgraf 1970). Situé à une altitude moyenne de 370 m, le dispositif s'étend entre 48° 30' et 49° 00' de latitude nord et entre 66° 30' et 67° 10' de longitude ouest (figure 1). Ayant fait partie des limites forestières de la compagnie de papier Hammermill de 1920 à 1961 (MacArthur 1959), il est depuis 1962 compris dans la Réserve faunique de Matane (Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche 1993).

Le territoire étudié appartient à la région écologique des Hauts-Monts-Notre-Dame, laquelle fait partie du domaine éoclimatique de la sapinière à bouleau blanc (Thibault 1985). Suivant la classification biogéographique de Rowe (1972), le dispositif est à l'intérieur de la section forestière Gaspé (B.2) de la forêt boréale et l'on y retrouve un climat bas-boréal perhumide (Groupe de travail sur les écorégions 1989). D'après les données récoltées entre 1963 et 1990 à la station météorologique de Saint-Jean-de-Cherbourg (48° 53' N et 67° 07' O), située dans la même région à 351 m d'altitude, le climat du secteur se caractérise par une température moyenne annuelle de 1,3 °C pour des extrêmes allant de -40 °C à 33,5 °C (Environnement Canada 1993a). La période moyenne sans gel de la station est de 62 jours (Environnement Canada 1993b). Les précipitations annuelles totales à cette station sont en moyenne de 1 083,4 mm dont environ 35 % tombent sous forme de neige et le nombre de degrés jours au-dessus de 5 °C y est de 1 132 (Environnement Canada 1993a).

Les matériaux meubles du dispositif sont des tills et des altérites, suivant la nomenclature utilisée par Robitaille et Allard (1996). D'après la cartographie écologique réalisée dans l'unité de gestion des Chics-Chocs par Gerardin *et al.* (1984), les sols de l'aire d'étude sont soit des tills dérivés de schistes gréseux et argileux de la formation de Saint-Léon, soit des calcaires schisteux de la formation de Cap Bon-Ami. Le drainage est généralement bon à imparfait et ce, malgré des pentes faibles (5 à 10 %) à modérées (10 à 15 %). Comme plusieurs placettes présentent un drainage oblique (*seepage*), la classe de qualité de station I de Vézina et Linteau (1968) est celle qui prédomine. Les travaux de Bertrand *et al.* (1992) et ceux de Zarnovican (1987) ont eux aussi attribué à ce territoire un indice de qualité de station moyen correspondant à la classe I de Vézina et Linteau (1968). De son côté, Hatcher (1969) a calculé, à partir d'études d'arbres recueillies en 1964, un indice de qualité de station moyen de classe III selon Linteau (1955).

Le dispositif couvre 13 km² d'une portion de territoire connue sous le nom de *Langue de terre*, laquelle est reconnue pour la grande fertilité de ses sols. Les placettes semi-permanentes carrées de 20 x 20 m sont réparties à l'intérieur de quatre blocs et forment un réseau continu à mailles serrées de 200 x 200 m pour un taux de sondage de 1 % (Pfalzgraf 1970).

Les peuplements retenus font partie des blocs II, III et IV et sont issus respectivement de coupes à blanc effectuées pendant les étés de 1934, 1944 et 1953 avec débusquage en hiver (MacArthur 1959). Aucun autre traitement n'a été effectué après les coupes initiales (MacArthur 1959). D'après MacArthur (1959), les placettes étaient bien à complètement régénérées lors de leur établissement en 1954. Par la suite, le dispositif a fait l'objet de trois remesurages, en 1964,

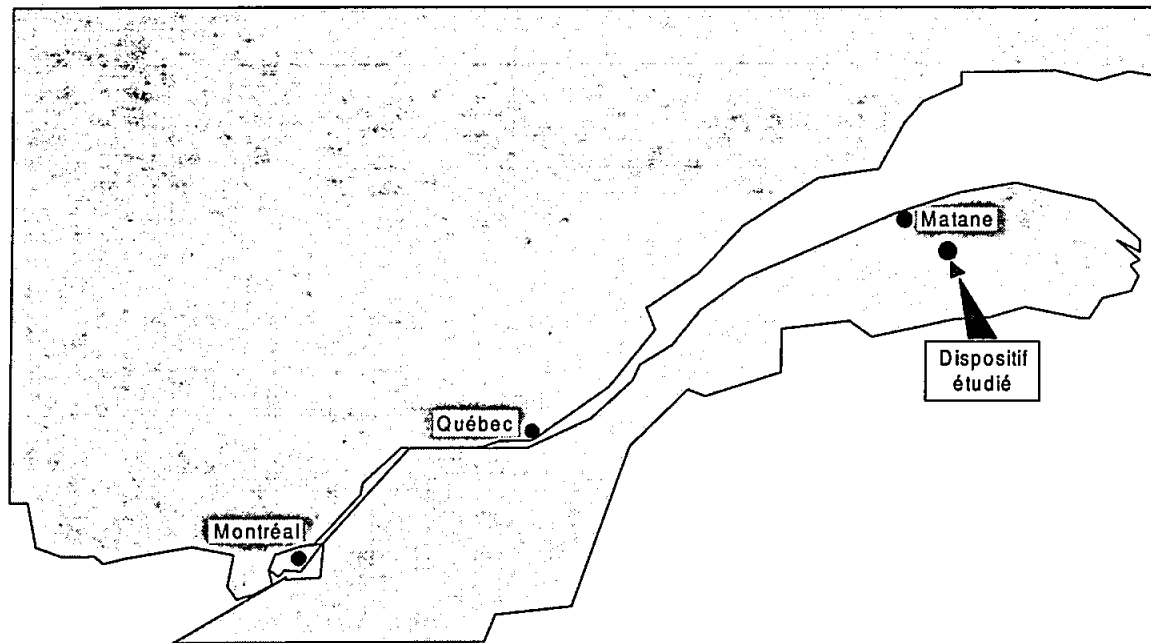


Figure 1. Localisation du dispositif étudié.

en 1978 et en 1990-1991. Pour les fins de l'étude, 101 des 252 placettes établies en 1954 ont été conservées. Il s'agit de celles dont au moins 75 % de la surface terrière totale était composée de sapin baumier et d'épinette blanche (*Picea glauca* [Moench] Voss). De plus, les données de l'inventaire de 1954 provenant du bloc coupé en 1953 n'ont pas été retenues afin de minimiser l'impact de la mortalité faisant suite à la coupe. Les essences compagnes retrouvées dans le dispositif sont le bouleau blanc (*Betula papyrifera* Marsh.), l'épinette noire (*Picea mariana* [Mill.] BSP), le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx.) et quelques bouleaux jaunes (*Betula alleghaniensis* Britton).

Des épidémies de tordeuse de bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* Clem.) ont eu lieu à quelques reprises dans la région étudiée. La première épidémie ayant affecté le dispositif s'est produite, selon Blais (1961) et Lachance *et al.* (1990),

entre 1950 et 1958. Au cours de cette période, l'épidémie qui sévissait a été contrée par des pulvérisations aériennes de DDT réalisées entre 1954 et 1958 (Blais 1961, Direction de la conservation 1993, Hatcher 1969). À en juger par les cartes de défoliation et d'infestation annuelles de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (Service de protection contre les insectes et maladies [SPIM] 1973 à 1992), une seconde épidémie a eu lieu dans cette région au cours de la période 1973 à 1991. Cette épidémie a atteint son maximum en termes de superficie et d'intensité dans la région étudiée pendant les années 1975 à 1982 inclusivement (Hardy *et al.* 1986, Lachance *et al.* 1990, SPIM 1973 à 1992). Durant cette dernière épidémie, le dispositif a été protégé de façon quasi continue entre 1977 et 1991 au moyen de pulvérisations d'insecticides chimiques et biologiques (SPIM 1973 à 1992). Sur le terrain, peu de signes tangibles de cette épidémie étaient visibles lors de la dernière campagne de mesurage.

Chapitre deux

Méthodologie

2.1. Caractéristiques des peuplements

2.1.1. Données

Les données utilisées proviennent des inventaires de 1954, 1964, 1978 et 1991 au cours desquels les diamètres ont été recueillis en système anglais pour, par la suite, être ramenés en système métrique. Pour les années 1954 et 1964, seules les grandeurs dendrométriques telles que le nombre de tiges marchandes, le nombre de tiges totales, la surface terrière totale (tableaux 1 à 3), la surface terrière marchande et le volume total des arbres vivants sont encore disponibles. Les informations fournies par les inventaires de 1978 et de 1991 sont le nombre de tiges par classe de diamètre à hauteur de poitrine de tous les arbres vivants, morts ou chablis. Avec ces données, les mêmes paramètres dendrométriques des placettes ont été calculés pour les deux derniers inventaires (tableaux 1 à 3). Pour les fins de l'étude, les arbres chablis en 1991 ont été considérés parmi les arbres vivants étant donné qu'ils ont en majorité 10 cm et moins à 1,3 m de hauteur (annexe 1) et qu'ils ont pour la plupart été renversés par le verglas dévastateur qui s'est abattu sur le dispositif au printemps 1991.

Au total, 303 études d'arbres ont été récoltées à raison de trois études par placette. Les informations fournies par chacune de ces études réalisées sur des arbres dominants et codominants sont l'âge et le diamètre à hauteur de poitrine de même que la hauteur totale. Dans chaque placette du bloc II et du bloc III, quatre tiges ont aussi été récoltées pour être analysées. Ces tiges ont été sélectionnées de manière à ce qu'elles représentent l'ensemble des diamètres et des étages retrouvés dans chaque placette. Les tiges ont ensuite été sectionnées à 0,2 m, 0,7 m, 1,3 m, 2 m et, par la suite, à tous les mètres jusqu'au sommet du tronc.

2.1.2. Traitement des données dendrométriques

2.1.2.1. Analyses de tiges

Sur chaque rondelle récoltée, quatre rayons ont été numérisés au moyen du système automatique de mesure *Windendro*®. Par la suite, on a réalisé une compilation des données au moyen du programme *Anatige* (Bégin 1993) à l'intérieur duquel un taux de retrait de 2 % en diamètre a été appliqué. La hauteur en 1978 a été évaluée à l'aide de ce programme en utilisant la méthode de Carmean (1972). Cette méthode, qui considère les accroissements annuels en hauteur comme étant constants pour les sections complètement ou partiellement connues et qui suppose que la coupe est effectuée au centre d'un accroissement annuel en hauteur, est, selon Dyer et Bailey (1987), celle qui donne les meilleurs résultats.

2.1.2.2. Indices de qualité de station

L'indice de qualité de station (IQS) est défini comme étant la hauteur totale des arbres dominants d'une essence particulière à un âge de référence donné mesuré à la souche ou à hauteur de poitrine. L'IQS moyen propre à chaque placette a été déterminé selon le modèle de Ker (1991) où l'âge de référence à hauteur de poitrine est fixé à 50 ans. Le choix de ce modèle découle du fait que les types de sapinière étudiés par Ker (1991) sont à peu près semblables à ceux étudiés ici. L'autre point en faveur de ce modèle est qu'il produit des courbes polymorphes, lesquelles dressent, d'après Davis et Johnson (1987), un portrait plus précis de la croissance en hauteur et, par le fait même, de la qualité de la station. Le dernier facteur ayant motivé ce choix est que la variable temporelle utilisée est l'âge à hauteur de poitrine au lieu de l'âge total (âge à la souche). En fait, l'âge à 1,3 m de hauteur a l'avantage d'exclure les effets de la suppression et de la carie (Boudoux 1978, Ker et Bowling 1991, Van

Tableau 1. Nombre total de tiges (1 cm+) toutes essences confondues (tiges/ha) des placettes selon le temps écoulé depuis la coupe (années)

	Bloc II				Bloc III				Bloc IV		
	Temps				Temps				Temps		
	20	30	44	56	10	20	34	46	11	25	38
Nombre	22	22	22	17	37	37	37	37	20	20	20
Moyenne	4941	3578	2488	1592	5072	6658	6098	3203	5263	14892	11251
Minimum	692	519	618	618	1211	1631	1458	791	1112	3138	3435
Maximum	14011	9118	5510	3484	12454	17198	15172	9217	11960	25180	25130
Écart type	3290	2243	1416	179	2914	3980	3823	1888	2870	6112	5563

Tableau 2. Nombre de tiges marchandes (9 cm+) toutes essences confondues (tiges/ha) des placettes selon le temps écoulé depuis la coupe (années)

	Bloc II				Bloc III				Bloc IV		
	Temps				Temps				Temps		
	20	30	44	56	10	20	34	46	11	25	38
Nombre	22	22	22	17	37	37	37	37	20	20	20
Moyenne	851	1357	1880	1377	319	906	1909	1839	126	775	1458
Minimum	395	395	494	544	0	148	988	741	0	99	420
Maximum	1754	2347	3508	2545	1236	1779	2916	3064	494	1754	2125
Écart type	398	574	924	529	283	420	495	646	150	442	466

Tableau 3. Surface terrière totale (1 cm+) toutes essences confondues (m²/ha) des placettes selon le temps écoulé depuis la coupe (années)

	Bloc II				Bloc III				Bloc IV		
	Temps				Temps				Temps		
	20	30	44	56	10	20	34	46	11	25	38
Nombre	22	22	22	17	37	37	37	37	20	20	20
Moyenne	20	28	41	43	10	21	41	41	6	28	35
Minimum	8	16	25	30	1	11	26	25	1	12	21
Maximum	32	40	54	53	26	34	58	59	12	44	46
Écart type	7	7	9	7	6	7	8	7	4	8	6

Nostrand 1964, Vicary *et al.* 1984). De plus, cette variable temporelle permet, selon Carmean (1975, dans Goelz et Burk 1992) et Curtis (1964), d'écarter de l'analyse la période juvénile pendant laquelle la croissance est souvent conditionnée par des facteurs autres que la qualité de station. C'est peut-être pour ces raisons qu'elle est utilisée dans les équations de Boudoux (1978), de Ker (1976 et 1981) et de Piene (1981).

Les données utilisées afin de calculer les IQS sont l'âge à hauteur de poitrine et la hauteur totale tirées de chaque analyse de tige ou étude d'arbre. Comme un bon IQS ne peut être déterminé qu'à partir d'arbres vigoureux fortement compétitifs (Davis et Johnson 1987), plusieurs individus ont dû être écartés des calculs. Pour répondre à ce critère et éliminer tous les effets de la suppression, seuls les individus dont l'âge à hauteur de poitrine est égal ou inférieur au nombre d'années depuis la coupe, soit 56 ans pour le bloc II, 46 ans pour le bloc III et 38 ans pour le bloc IV, ont été conservés. Les arbres ne présentant pas de signe de suppression malgré leur âge avancé ont eux aussi été gardés lorsque la différence entre leur âge à 1,3 m de hauteur et leur âge à la souche est inférieure ou égale à 6 ans. Cette valeur établie par Zarnovican (1981) est semblable à celle utilisée dans les tables de Boudoux (1978) pour transformer les âges à la souche de Vézina et Linteau (1968). La valeur de 7,4 ans calculée

par Hatcher (1960) est, elle aussi, comparable à celle utilisée ici; elle est par contre conservatrice par rapport à celle de 9 ans déterminée par Logan (1969) dans le dispositif de la Forêt Montmorency. Tous les arbres répondant à ces critères ont servi à calculer un IQS spécifique à chaque placette.

*

2.1.2.3. Calcul des volumes des placettes

– Calcul du volume total

Le volume total des placettes a été établi à l'aide d'un tarif de cubage général (Anonyme 1948). Pour les années 1954 et 1964, ce tarif a été rendu local en utilisant une relation hauteur-diamètre calculée avec les données de 1954 (tableau 4). Ce même tarif a été actualisé pour les inventaires de 1978 et de 1991 (tableau 4), car au fur et à mesure que les peuplements équiennes vieillissent, on observe un déplacement vers le haut de la relation hauteur-diamètre (figure 3). L'importance de mettre le tarif à jour par une relation hauteur-diamètre propre à chaque remesurage est soulignée par Assmann (1970) et par Bégin et Raulier (1995). La relation hauteur-diamètre spécifique à 1991 a donc été calculée avec les données provenant des études d'arbres alors que celle pour 1978 a été établie à l'aide des analyses de tige.

Tableau 4. Volume total (1 cm+) toutes essences confondues (m³/ha) des placettes selon le temps écoulé depuis la coupe (années)

	Bloc II				Bloc III				Bloc IV		
	Temps				Temps				Temps		
	20	30	44	56	10	20	34	46	11	25	38
Nombre	22	22	22	17	37	37	37	37	20	20	20
Moyenne	72	133	232	288	33	87	203	248	18	83	126
Minimum	32	69	128	201	3	38	120	146	2	35	75
Maximum	117	178	293	369	101	162	284	364	47	137	195
Écart type	25	29	47	52	24	35	46	64	13	28	31

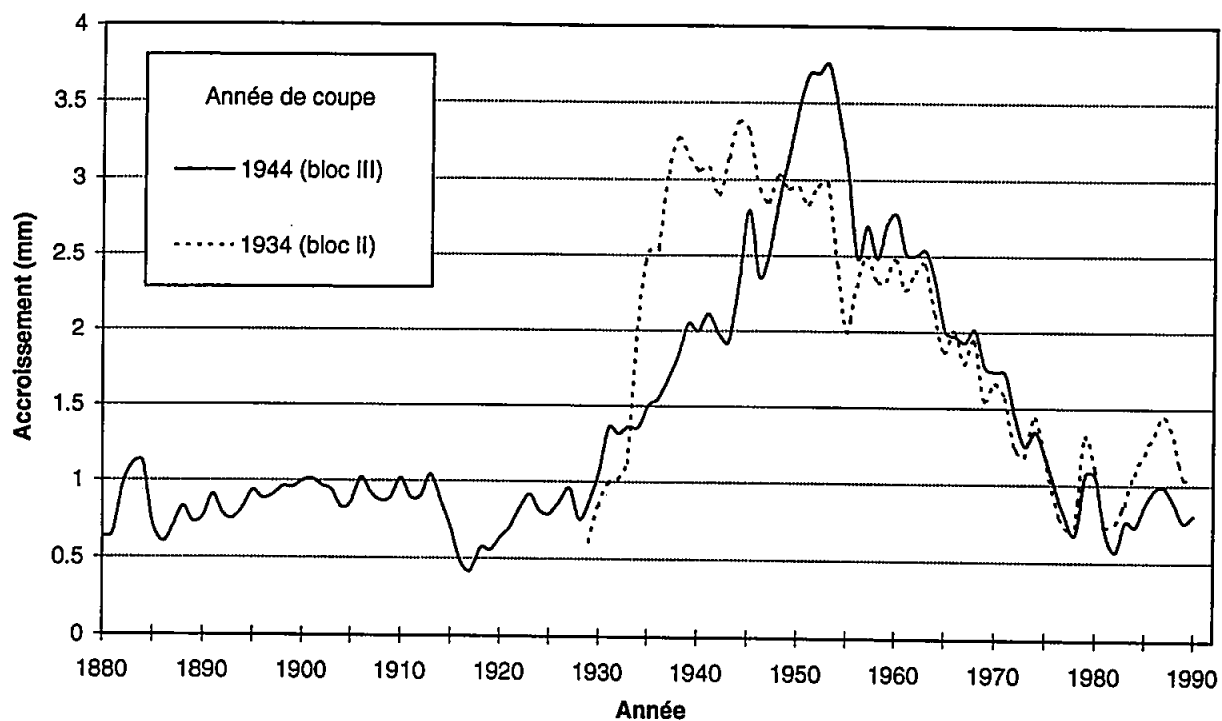


Figure 2. Accroissement en diamètre à hauteur de poitrine de 20 sapins baumiers provenant en nombre égal du bloc II et du bloc III du dispositif de la rivière Matane.

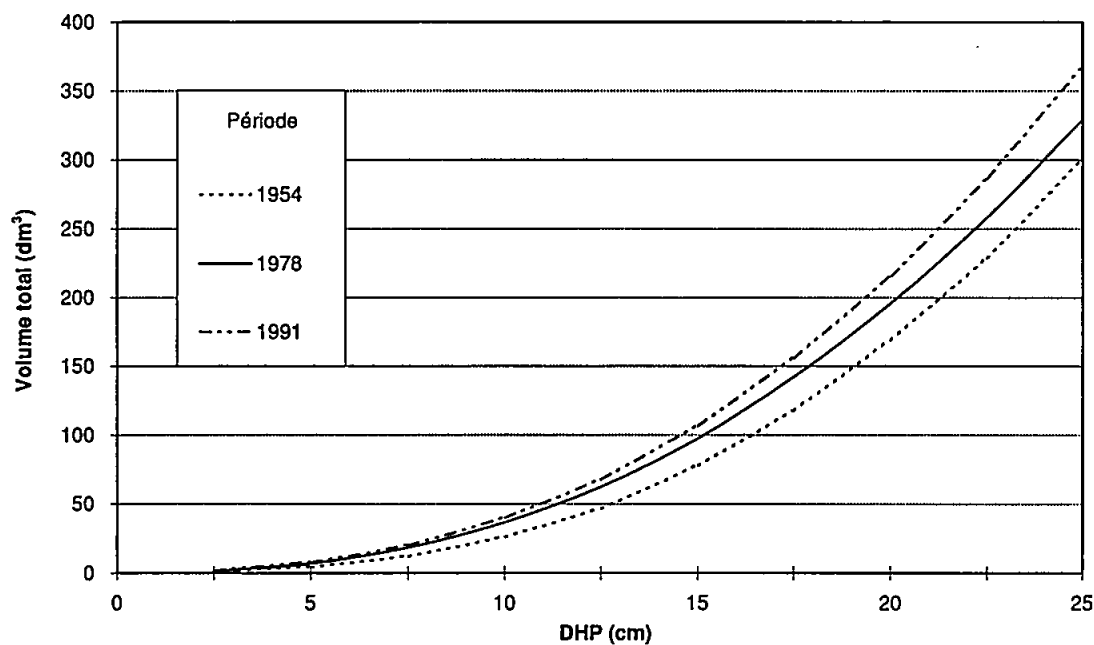


Figure 3. Volume total de chaque tige de sapin baumier en fonction du DHP et de la période.

Tableau 5. Volume marchand (9 cm+) toutes essences confondues (m³/ha) des placettes selon le temps écoulé depuis la coupe (années)

	Bloc II				Bloc III				Bloc IV		
	Temps				Temps				Temps		
	20	30	44	56	10	20	34	46	11	25	38
Nombre	22	22	22	17	37	37	37	37	20	20	20
Moyenne	41	97	193	258	17	49	143	204	5	25	63
Minimum	9	45	93	176	0	3	53	99	0	2	14
Maximum	81	137	254	337	77	127	238	317	25	80	146
Écart type	20	27	43	50	18	33	54	62	8	21	33

– Calcul du volume marchand

Le volume marchand pour 1978 et 1991 a été calculé selon le tarif de cubage général de Perron (1985) (tableau 5). Pour les inventaires de 1954 et 1964, le volume marchand de chaque placette a été établi grâce au modèle suivant :

$$[1] \text{ VM} = \text{VTM} [\beta_0 + \beta_1 \text{VTM} + \beta_2 \text{VTM}_{\text{moy}} + \beta_3 \text{DHP}_{\text{moy}} + \beta_4 (\text{DHP}_{\text{moy}} \cdot \text{VTM}_{\text{moy}}) + \beta_5 (\text{VTM} \cdot \text{VTM}_{\text{moy}}) + \beta_6 (\text{DHP}_{\text{moy}} (\text{VTM} \cdot \text{VTM}_{\text{moy}})) + \beta_7 \text{DHP}_{\text{moy}}^2 + \beta_8 \text{VTM}^2 + \beta_9 \text{VTM}_{\text{moy}}^2]$$

où :

DHP_{moy} = diamètre à hauteur de poitrine moyen de chaque tige;

VM = volume marchand;

VTM = volume total des tiges marchandes;

VTM_{moy} = volume total des tiges marchandes moyen de chaque tige.

En fait, ce modèle utilise comme variables explicatives, de façon simple et combinée, le diamètre à hauteur de poitrine moyen, le volume total moyen des tiges marchandes et le volume total des tiges marchandes.

2.1.3. Impact de la tordeuse des bourgeons de l'épinette

La tordeuse des bourgeons de l'épinette (TBE) semble avoir eu peu d'impact sur la mortalité dans l'ensemble du dispositif, car le taux de mortalité en volume total observé lors des inventaires de 1978 et de 1991 s'élevait à 2,5 et 6,9 % respectivement. D'un autre côté, le fait que la répartition de la mortalité en 1991 pour le sapin et l'épinette par classe de diamètre

présentée à l'annexe 2 soit semblable à celle du bouleau blanc vient appuyer cette affirmation. Finalement, la similitude entre la répartition de la mortalité par classe de diamètre pour 1991 et 1978 (annexes 2 et 3) appuie, elle aussi, l'idée que la TBE a eu peu de conséquences sur l'évolution des peuplements. Du point de vue de la croissance diamétrale des arbres, la figure 2 laisse voir clairement l'effet provoqué par l'ouverture du couvert à la suite des coupes effectuées en 1934 ou 1944. Cette même figure permet aussi de distinguer les épidémies de TBE ayant eu lieu autour de 1916, de 1955 et, plus récemment, de 1975 à 1985. Ces trois épidémies qui se dessinent dans les courbes ne modifient pas beaucoup les tendances générales observées et ont eu un effet limité sur l'évolution du diamètre des arbres. Tout cela corrobore le constat de Bertrand *et al.* (1992) selon lequel l'épidémie de TBE ayant débuté en 1973 a eu peu d'effets tangibles pendant la période de croissance.

2.2. Caractéristiques permanentes

2.2.1 Phases écologiques et groupes écoforestiers

Le matériel meuble et la classe de drainage de chaque placette ont été déterminés directement lors du dernier inventaire alors que le type forestier a été établi à partir des pourcentages de couverture des plantes colonisant chaque placette. Dans ce but, la clé d'identification des stations forestières de la Forêt Montmorency a été utilisée (Lessard *et al.* 1991). Une validation préalable de cette clé a été faite pour la région étudiée. Les placettes ayant des caractéristiques physiques et végétales similaires ont ensuite été regroupées à l'intérieur d'une même phase écologique (tableau 6). Ces phases écologiques sont des unités de classification écologique caractérisées par le type géomorphologique et un type forestier donné (Jurdant *et al.* 1977).

Tableau 6. Liste et caractéristiques des phases écologiques présentes dans le dispositif de rivière Matane

Phase écologique	Dépôt	Drainage	Type forestier
Shr/1sg 21	Tills épais (> 1 m)	Bon avec <i>seepage</i>	Sapinière à herbacées riche
Shm/1sg 30		Modéré	Sapinière à herbacées et mousses
Shr/1sg 31		Modéré avec <i>seepage</i>	Sapinière à herbacées riche
Sms/1sg 40		Imparfait	Sapinière à mousses et sphaignes
SEs/1sg 50		Mauvais	Sapinière à épinette noire et à sphaignes
Shm/8sg 30	Altération épaisse (> 1m)	Modéré	Sapinière à herbacées et mousses
Shm/8sg 31		Modéré avec <i>seepage</i>	Sapinière à herbacées riche
Shrh/8sg 41-51		Imparfait à mauvais avec <i>seepage</i>	Sapinière à herbacées riche humide
Shm/1ay 30	Tills moyennement épais (< 1 m)	Modéré	Sapinière à herbacées et mousses
Sms/1ay 40		Imparfait	Sapinière à mousses et sphaignes

¹ *Seepage* et drainage oblique : présence d'un écoulement latéral d'eau tellurique qui provoque un enrichissement en éléments nutritifs et un meilleur apport d'eau oxygénée.

La qualité de station des phases écologiques a été établie en les comparant statistiquement avec l'IQS. Cette approche de comparaison des indices de qualité de station propres à chaque phase écologique est identique à celle employée dans les travaux de Bélanger *et al.* (1995). Une méthode similaire a aussi été employée dans les travaux de Grondin *et al.* (1993) et de Saucier (1993).

Pour avoir suffisamment d'observations afin de modéliser la production des peuplements inventoriés, il a été nécessaire de regrouper entre elles toutes les phases écologiques présentant des caractéristiques biophysiques et des IQS semblables. Cette pratique entraîne par le fait même le développement d'un nombre limité d'équations, ce qui dans la pratique est plus fonctionnel. L'unité alors obtenue est le groupe écoforestier. Celui-ci se définit comme étant une unité d'aménagement dont les caractéristiques physiques et la composition floristique sont suffisamment homogènes pour que la végétation de cette unité réagisse de façon similaire à un même régime de traitements sylvicoles (Bélanger *et al.* 1996). Défini de la sorte, le groupe écoforestier s'apparente à la notion de groupe sylvicole de Grondin *et al.* (1994). En fait, cette unité est conçue comme la base de l'élaboration de stratégies sylvicoles identifiées dans un plan général d'aménagement, c'est-à-dire le programme de traitements sylvicoles à être effectués aux divers stades de développement du groupe écoforestier.

2.3. Modélisation de la production

2.3.1. Modèles de Sullivan et Clutter

Lorsque les données disponibles pour modéliser la production sont les grandeurs dendrométriques des peuplements inventoriés, il est conseillé par Davis et Johnson (1987) et par Vanclay (1994) d'utiliser les modèles de croissance et de rendement à densité variable pour peuplements entiers. Parmi les modèles existants, ceux développés par Sullivan et Clutter (1972) sont, de l'avis de Davis et Johnson (1987) ainsi que de Vanclay (1994), adéquats. Dérivés de l'équation permettant de prédire la production en volume et en surface terrière construite par Schumacher (1939), ces modèles reprennent les équations de Buckman (1962) et de Clutter (1963) où a été introduit le concept de compatibilité entre les équations de rendement et celles de croissance des forêts (Sullivan et Clutter 1972). Mathématiquement, cela se concrétise par le fait qu'il est possible de déterminer l'équation du rendement à partir de l'équation de la croissance (Davis et Johnson 1987). Le lien logique derrière cette compatibilité est que la somme des accroissements annuels en surface terrière ou en volume depuis l'établissement d'un peuplement jusqu'au moment de la coupe équivaut au rendement obtenu (Reed *et al.* 1986, Bertrand *et al.* 1992).

Les modèles de Sullivan et Clutter (1972) permettent de prédire le rendement et la croissance des peuplements en utilisant comme variables indépendantes l'âge, la surface terrière initiale ainsi que l'indice de qualité de station. Ces modèles sont :

$$[2] \ln V_0 = \beta_0 + \beta_1 (IQS) + \beta_2 (1 / A_0) + \beta_3 (\ln STT_0)$$

$$[3] \ln V_1 = \beta_0 + \beta_1 (IQS) + \beta_2 (1 / A_1) + \beta_3 (\ln STT_1)$$

$$[4] \ln STT_1 = (A_0 / A_1) \ln STT_0 + \alpha_1 (1 - A_0 / A_1) + \alpha_2 (1 - A_0 / A_1) IQS$$

où :

A_0 = âge actuel du peuplement;

A_1 = âge du peuplement
au moment de la prédiction;

IQS = indice de qualité de station;

STT_0 = surface terrière totale actuelle;

STT_1 = surface terrière totale
au moment de la prédiction;

V_0 = volume actuel;

V_1 = volume au moment de la prédiction.

En remplaçant $\ln STT_1$ dans l'équation 3 par les variables indépendantes de l'équation 4 et en simplifiant, on obtient :

$$[5] \ln V_1 = \beta_0 + \beta_1 (IQS) + \beta_2 (1 / A_1) + \beta_3 (A_0 / A_1) \ln STT_0 + \beta_3 \alpha_1 (1 - A_0 / A_1) + \beta_3 \alpha_2 (1 - A_0 / A_1) IQS$$

En substituant β_4 à $\beta_3 \alpha_1$ et β_5 à $\beta_3 \alpha_2$, l'équation devient :

$$[6] \ln V_1 = \beta_0 + \beta_1 (IQS) + \beta_2 (1 / A_1) + \beta_3 (A_0 / A_1) \ln STT_0 + \beta_4 (1 - A_0 / A_1) + \beta_5 (1 - A_0 / A_1) IQS$$

L'équation 6 permet de calculer, à partir des variables indépendantes, la valeur du volume d'un peuplement à un temps ultérieur. De plus, elle donne, lorsque $A_0 = A_1$, le rendement (équation 1). Dans cette même équation, les paramètres β_3 , β_4 et β_5 peuvent servir à évaluer α_1 et α_2 dans l'équation 4, car $\beta_4 / \beta_3 = \alpha_1$ et $\beta_5 / \beta_3 = \alpha_2$. La surface terrière peut alors s'exprimer comme suit :

$$[7] \ln STT_1 = (A_0 / A_1) \ln STT_0 + \beta_4 / \beta_3 (1 - A_0 / A_1) + \beta_5 / \beta_3 (1 - A_0 / A_1) IQS$$

Lorsque l'équation 6 est calibrée pour le volume marchand ou total, il est possible de déduire les coefficients de l'équation de la surface terrière totale. Cependant, le calcul des coefficients se fait à partir d'équations pour différents volumes (volume marchand ou volume total) et induit des variations des estimateurs de la surface terrière (Reed *et al.* 1986, Bertrand *et al.* 1992).

2.3.2. Modification des modèles de Sullivan et Clutter

Comme l'approche utilisée en est une par peuplements entiers et que le sapin est une essence très tolérante à l'ombre, capable de réagir à un dégagement malgré une longue période de suppression (Gagnon 1985, Morris 1948, Zarnovican 1981), l'âge total des peuplements a été remplacé par le temps écoulé depuis le dégagement (*release age*) dans tous les modèles.

2.3.2.1. Modèles avec l'IQS

Après modification, les modèles avec l'IQS pour modéliser l'évolution du volume total, du volume marchand et de la surface terrière totale sont :

$$[8] \ln V_1 = \beta_0 + \beta_1 (IQS) + \beta_2 (1 / T_1) + \beta_3 (T_0 / T_1) \ln STT_0 + \beta_4 (1 - T_0 / T_1) + \beta_5 (1 - T_0 / T_1) IQS$$

$$[9] \ln STT_1 = (T_0 / T_1) \ln STT_0 + \alpha_1 (1 - T_0 / T_1) + \alpha_2 (1 - T_0 / T_1) IQS$$

où :

T_0 = temps réel depuis la coupe;

T_1 = temps au moment de la prédiction
depuis la coupe;

IQS = indice de qualité de station;

STT_0 = surface terrière totale actuelle;

STT_1 = surface terrière totale
au moment de la prédiction;

V_1 = volume au moment de la prédiction.

La validation des principales tables de production existantes pour les sapinières boréales a été réalisée en comparant graphiquement les courbes obtenues à celles des autres auteurs.

2.3.2.2. Modèles pour les groupes écoforestiers

En plus de la substitution de la variable temporelle, la modélisation de l'évolution des grandeurs dendrométriques de chaque groupe écoforestier est réalisée à partir des modèles de Sullivan et Clutter (1972) où l'IQS a été retranché des variables explicatives. Les modèles ainsi obtenus sont identiques à ceux utilisés par Bertrand *et al.* (1992) dans le même dispositif, à savoir :

$$[10] \ln V_1 = \beta_0 + \beta_1 (1 / T_1) + \beta_2 (T_0 / T_1) \ln STT_0 + \beta_3 (1 - T_0 / T_1)$$

$$[11] \ln STT_1 = (T_0 / T_1) \ln STT_0 + \alpha_1 (1 - T_0 / T_1)$$

où :

T_0 = temps réel depuis la coupe;

T_1 = temps au moment de la prédiction depuis la coupe;

STT_0 = surface terrière totale actuelle;

STT_1 = surface terrière totale au moment de la prédiction;

V_1 = volume au moment de la prédiction.

Pour chaque groupe écoforestier, des équations distinctes ont été construites. Il est opportun de déterminer si ces équations sont statistiquement différentes les unes des autres. Pour ce faire, on a utilisé le test global de comparaison de Zar (1974, dans Bégin *et al.* 1990) :

$$[12] F = \frac{(SCE - SCE_0) / (m+1) (k-1)}{(SCE_0) / (n-mk-k)}$$

où :

SCE = somme des carrés des résidus des k populations regroupées;

SCE_0 = somme des carrés des résidus de chacune des k populations;

n = nombre d'observations;

m = nombre de variables indépendantes;

k = nombre de groupes.

2.4. Traitement des données

Le traitement des données a nécessité l'utilisation de plusieurs fonctions statistiques. Pour ce faire, le progiciel SAS (1988) a été employé pour réaliser les analyses nécessaires afin d'atteindre les objectifs de cette étude. Dans tous les cas, le seuil de signification retenu est $\alpha = 0,05$.

2.4.1. Modélisation de la production

Pour permettre la prédiction de la production sur l'ensemble de la vie du peuplement, l'âge et les grandeurs dendrométriques lors du premier inventaire ont été utilisés avec ceux de chacun des inventaires réalisés ultérieurement. Avant d'aller plus loin, les postulats de l'analyse de la variance ont été l'objet d'une vérification approfondie. Parmi les postulats à vérifier, seule l'hypothèse de la normalité, exprimée par le test de Shapiro-Wilk, n'était pas satisfaite et ce, dans plusieurs cas. Cette situation était prévisible puisque les données provenant de placettes semi-permanentes engendrent un problème d'autocorrélation (Sullivan et Clutter 1972, Grégoire 1987), lequel se caractérise par le non-respect de l'hypothèse de normalité (West *et al.* 1984). Pour remédier à cette situation, diverses méthodes d'analyse ont été proposées au cours des dernières années. Malgré tout, il semble, selon Borders *et al.* (1984), Grégoire (1987), Montgomery et Peck (1982), Sullivan et Reynolds (1976), West *et al.* (1984) et Zeide (1993), que la régression classique avec la méthode des moindres carrés produit de bons estimateurs. Cela est d'autant plus vrai si le test d'aplatissement de la loi F est semblable à celui de la loi normale (Capéraà et Van Cutsem 1988).

Comme les données répondaient au test d'aplatissement, un test d'influence a par la suite été réalisé grâce aux options COLLIN et INFLUENCE de la procédure REG de SAS. Une fois les données influentes écartées, comme le recommandent Belsey *et al.* (1980), la modélisation de la production a été réalisée selon la méthode des moindres carrés de la procédure REG de SAS.

2.4.2. Regroupement des phases écologiques en groupes écoforestiers

Avant d'entreprendre la modélisation de la production de chaque groupe écoforestier, la classification des phases écologiques et leur regroupement en fonction des indices de qualité de station ont été réalisés. Pour ce faire, nous avons utilisé le test de comparaisons multiples des moyennes de Duncan de la procédure ANOVA de SAS.

2.4.3. Validation des modèles

Afin de valider les modèles avec l'IQS, huit placettes sélectionnées au hasard (10 %) ont été retirées lors de la calibration des équations. Ces placettes ont servi à calculer l'erreur de prédiction de chaque modèle à l'aide de la méthode suggérée par Grégoire (1987) :

$$[13] \text{ erreur de prédiction} = \frac{\sqrt{(SE^2/n)}}{V_{\text{moy}}} \times 100$$

où :

SE = somme des écarts entre les valeurs prédites et les valeurs observées;

n = nombre d'observations;

V_{moy} = moyenne des valeurs observées.

Ces placettes ont aussi été utilisées afin de valider les équations propres à chaque groupe écoforestier. À celles-ci ont été ajoutées les placettes où nous n'avons pas d'IQS étant donné que les données disponibles ne répondaient pas aux critères présentés précédemment, mais pour lesquelles on a pu déterminer la phase écologique. Au total, 22 placettes ont donc servi à valider les équations spécifiques des groupes écoforestiers.

Chapitre trois

Résultats

3.1. Modèles avec l'IQS

3.1.1. Modélisation de la production avec l'IQS

Les régressions linéaires multiples réalisées afin de calibrer les modèles avec l'IQS couvrent la période de 10 à 56 ans après la coupe. Au début de la période, à savoir 10 ans après la coupe, la surface terrière totale des peuplements variait entre 1 et 26 m²/ha avec une moyenne de 8,5 m²/ha. En ce qui a trait à l'IQS moyen, il est de 9,6 à 19,4 m. Ces résultats servent de base aux représentations graphiques car la valeur utilisée comme variable fixe est la surface terrière totale initiale moyenne ou l'IQS moyen (figures 4 à 10). Les valeurs de la variable non fixe couvrent, quant à elles, l'ensemble de la fourchette des valeurs observées en termes de surface terrière totale initiale ou d'IQS.

3.1.1.1. Surface terrière totale

L'équation obtenue pour prédire l'évolution de la surface terrière totale est:

$$[14] \ln STT_1 = (T_0 / T_1) \ln STT_0 \\ + 4,66058 (1 - T_0 / T_1) \\ - 0,02830 (1 - T_0 / T_1) \text{ IQS}$$

L'écart type résiduel de 0,21 et le coefficient de variation de 5,93 % donnent un aperçu de la qualité de l'ajustement de cette équation (tableau 7). Tout comme la valeur de Fisher, l'interaction entre l'IQS et le temps est significative à $\alpha = 0,01$ (tableau 7). Les courbes de la figure 4 présentent l'évolution de la surface terrière totale en fonction de l'indice de qualité de station. La figure 5, quant à elle, laisse voir les courbes engendrées par différents niveaux de surface terrière totale initiale et ce, pour un IQS fixe. Les valeurs calculées sont présentées aux annexes 4 à 15. La tendance de l'évolution de la surface terrière totale est bien traduite par l'équation puisque l'erreur de prédiction en surface terrière totale est de 3,4 %.

3.1.1.2. Volume marchand

Pour le volume marchand, la calibration du modèle 7 à partir des données d'inventaire donne l'équation suivante:

$$[15] \ln VM_1 = - 5,15108 + 0,36025 (\text{IQS}) \\ - 32,66775 (1 / T_1) \\ + 1,53668 (T_0 / T_1) \ln STT_0 \\ + 10,94006 (1 - T_0 / T_1) \\ - 0,30869 (1 - T_0 / T_1) \text{ IQS}$$

Avec une valeur de Fisher de 204,81 ($P > F = 0,0001$), l'équation a comme caractéristique statistique, un taux d'explication de la variation observée de 84 % et un coefficient de variation de 8,56 % (tableau 7). Les coefficients des variables explicatives sont tous significatifs lorsque pris individuellement (tableau 7). En termes de qualité d'ajustement, l'ajout de l'IQS en tant que variable indépendante fait passer la proportion de la variation expliquée en volume marchand de 70 % à 84 %. Avec cette dernière option, la mesure de la dispersion relative des observations (C.V.) diminue de 3,0 % (annexe 16). L'erreur de prédiction en volume marchand de cette équation, établie par l'équation 13, est de 2,8 %.

L'évolution du volume marchand, engendrée par divers indices de qualité de station et par différentes surfaces terrières totales initiales, est illustrée aux figures 6 et 7. Dans les deux cas, l'interaction entre l'IQS ou la surface terrière totale initiale et le temps écoulé depuis la coupe est très claire. Les âges d'exploitabilité absolus, indiqués à la figure 8 par les points de rencontre des courbes d'accroissements annuels moyens et périodiques, sont tous supérieurs à 55 ans et ce, pour une surface terrière totale de 8,5 m²/ha 10 ans après la coupe. Cette figure laisse voir qu'il y a diminution de l'âge de révolution lorsque l'IQS est supérieur. Il en est de même pour la surface

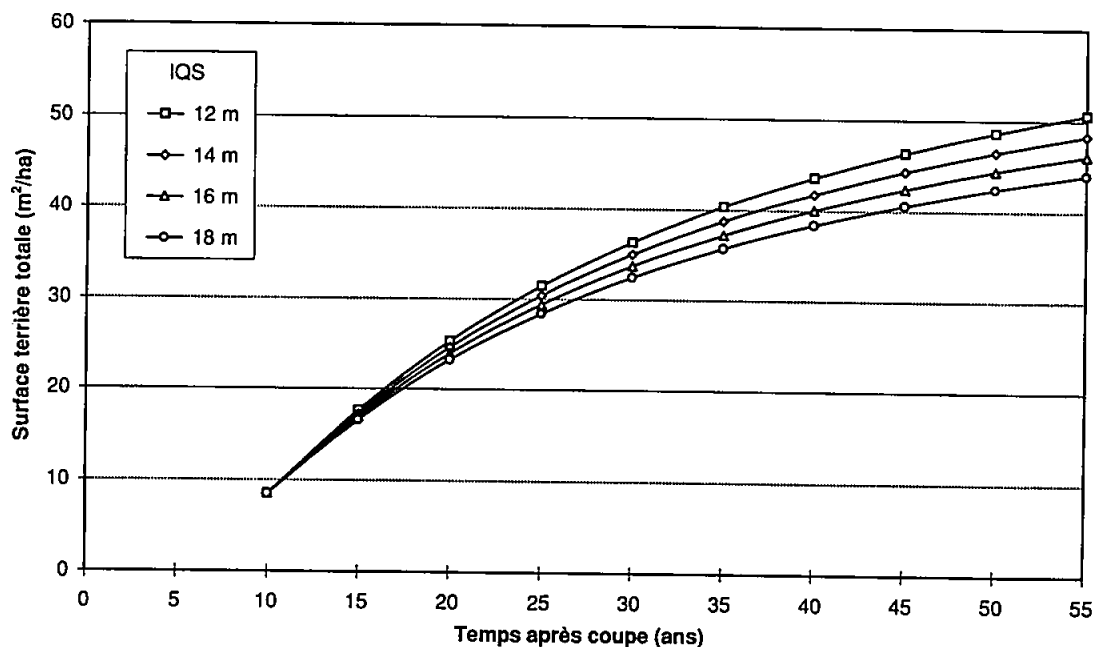


Figure 4. Évolution de la surface terrière totale toutes essences en fonction du temps écoulé et de l'indice de qualité de station pour une surface terrière totale de 8,5 m²/ha 10 ans après la coupe.

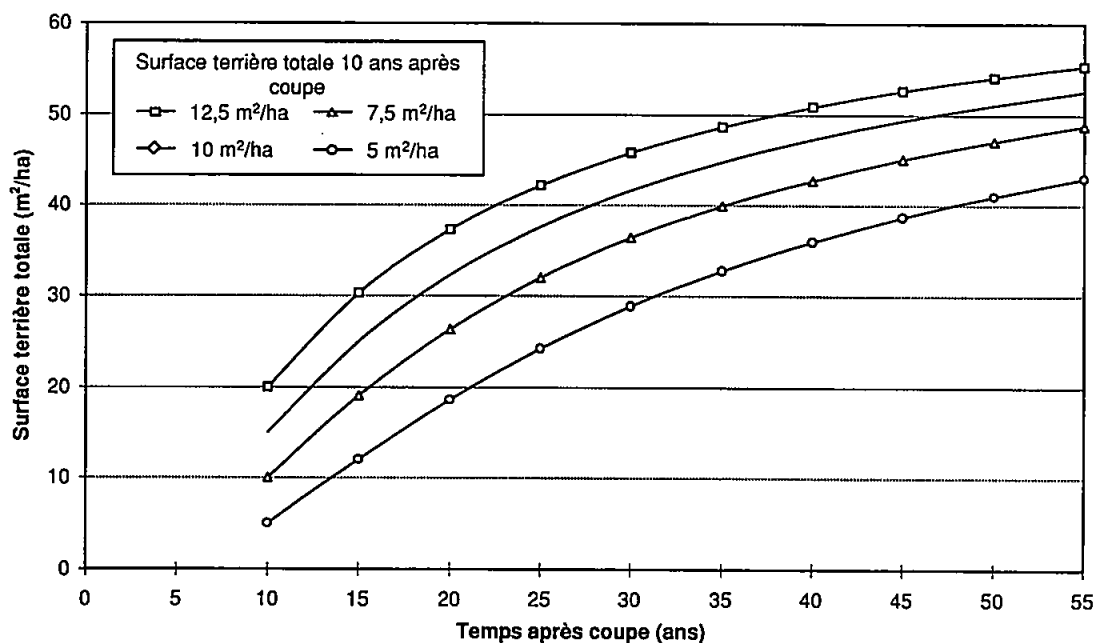


Figure 5. Évolution de la surface terrière totale toutes essences en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe pour un indice de qualité de station de 14,9 m.

Tableau 7. Caractéristiques statistiques des équations de la surface terrière totale, du volume marchand et du volume total ainsi que des variables utilisées dans chacune

Caractéristiques du modèle / Niveau de signification des paramètres				
Statistiques / variable	DL	Surface terrière totale	Volume marchand	Volume total
Valeur de Fisher		29359,4150	204,8070	344,5540
Prob. > Fisher		0,0001	0,0001	0,0001
Coefficient de détermination		0,8373	0,8964	
Écart type résiduel		0,2073	0,3903	0,1720
Coefficient de variation		5,9293	8,5602	3,3989
Ordonnée à l'origine	1		0,0001	0,0035
IQS	1		0,0001	0,8574
1 / T ₁	1		0,0001	0,0001
(T ₀ / T ₁) lnSTT ₀	1		0,0001	0,0001
1 - T ₀ / T ₁	1	0,0001	0,0001	0,0001
(1 - T ₀ / T ₁) IQS	1	0,0249	0,0060	0,1364
Sous-ensemble de paramètres avec IQS	2		0,0001	0,0001

DL: degrés de liberté

terrière totale initiale, car plus celle-ci est élevée, plus l'âge de révolution est jeune. Ces valeurs calculées sont présentées dans les annexes 4 à 15.

3.1.1.3. Volume total

L'équation obtenue pour prédire l'évolution du volume total est:

$$\begin{aligned}
 [16] \ln VT_1 = & 1,69622 + 0,04702 (\text{IQS}) \\
 & - 20,28594 (1 / T_1) \\
 & + 0,93592 (T_0 / T_1) \ln STT_0 \\
 & + 3,82164 (1 - T_0 / T_1) \\
 & + 0,00882 (1 - T_0 / T_1) \text{IQS}
 \end{aligned}$$

Cette équation, significative au niveau $\alpha = 0,05$, a un coefficient de détermination de 0,90 et un coefficient de variation de 3,40 % (tableau 7). La plupart des variables explicatives prises individuellement y sont significatives (tableau 7). Cependant, les variables indépendantes intégrant l'indice de qualité de station sont les seules qui sont ressorties comme non significatives. Le test de sous-ensemble de paramètres indique toutefois que la contribution globale de ces deux variables est significative ($P > F = 0,0001$) (tableau 7). Malgré cela, l'ajout de l'IQS comme variable explicative n'augmente que légèrement le coefficient de détermination de l'équation (annexe 16).

L'erreur de prédiction en volume total, calculée avec l'équation 13, est de 0,8 %. L'équation exprime donc assez fidèlement la tendance des huit placettes utilisées lors de la validation.

Graphiquement, cette équation donne les courbes illustrées à la figure 9, lesquelles sont engendrées par une variation de l'indice de qualité de station, alors que la figure 10 présente le scénario inverse. Quant aux valeurs calculées, elles apparaissent aux annexes 4 à 15.

3.1.2. Validation des tables de production existantes

Comme la validation des principales tables de production existantes pour les sapinières boréales du Québec est réalisée en comparant graphiquement ces dernières avec les équations définies dans la présente étude, les surfaces terrières totales initiales et les indices de qualité de station employés dans les équations obtenues ont été amenés aux mêmes niveaux que ceux des tables auxquelles ils sont comparés (figures 11 à 21).

3.1.2.1. Surface terrière totale

La comparaison illustrée à la figure 11 indique que les courbes des tables de Boudoux (1978) donnent des surfaces terrières totales quasi constantes entre 30 et 55 ans alors que les STT obtenues sont croissantes. Une situation similaire est présentée à la figure 11 où les résultats sont comparés aux courbes de Vézina et Linteau (1968). D'un autre côté, les tables de Bolghari et Vézina (1974) produisent des courbes relativement similaires à celles de la présente étude bien qu'elles tendent à plafonner plus tôt (figure 11).

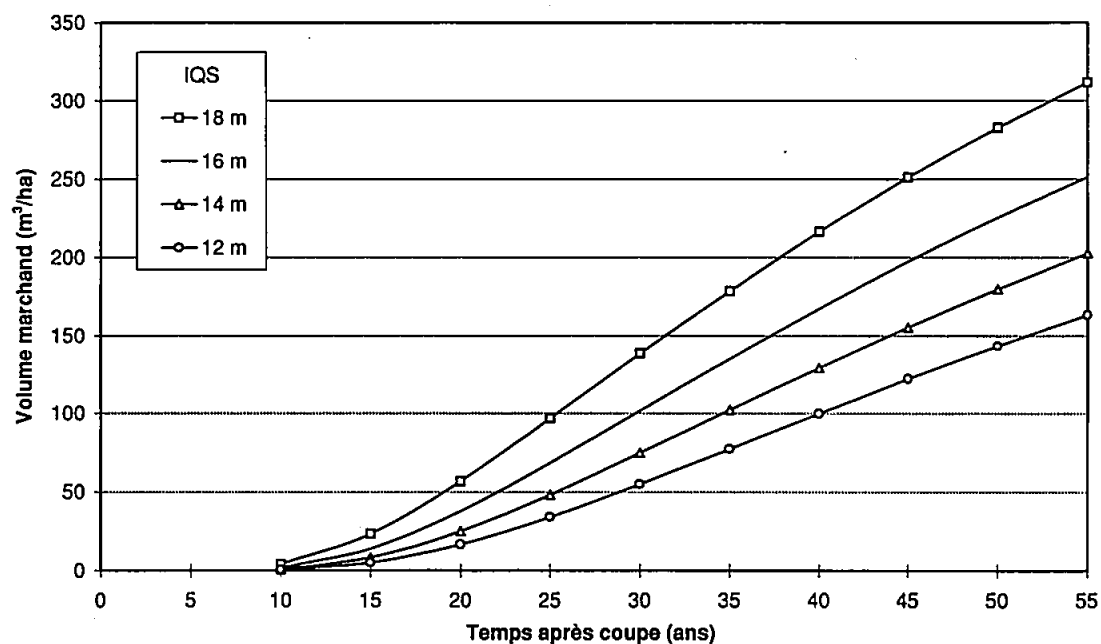


Figure 6. Évolution du volume marchand toutes essences en fonction du temps écoulé et de l'indice de qualité de station pour une surface terrière totale de 8,5 m²/ha 10 ans après la coupe.

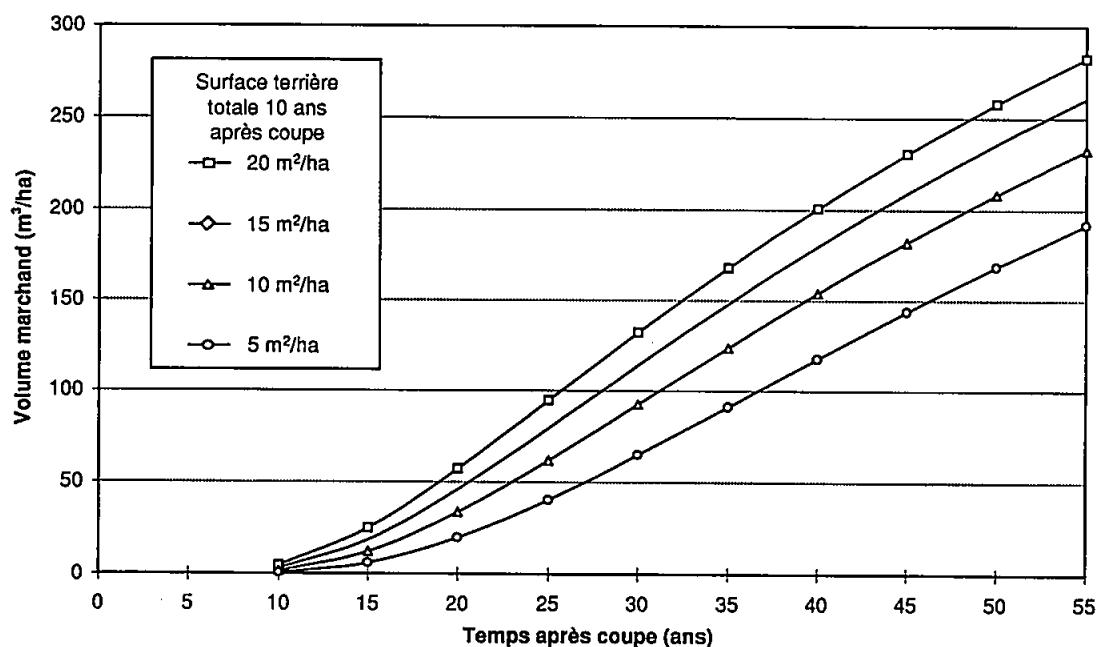


Figure 7. Évolution du volume marchand toutes essences en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe pour un indice de qualité de station de 14,9 m.

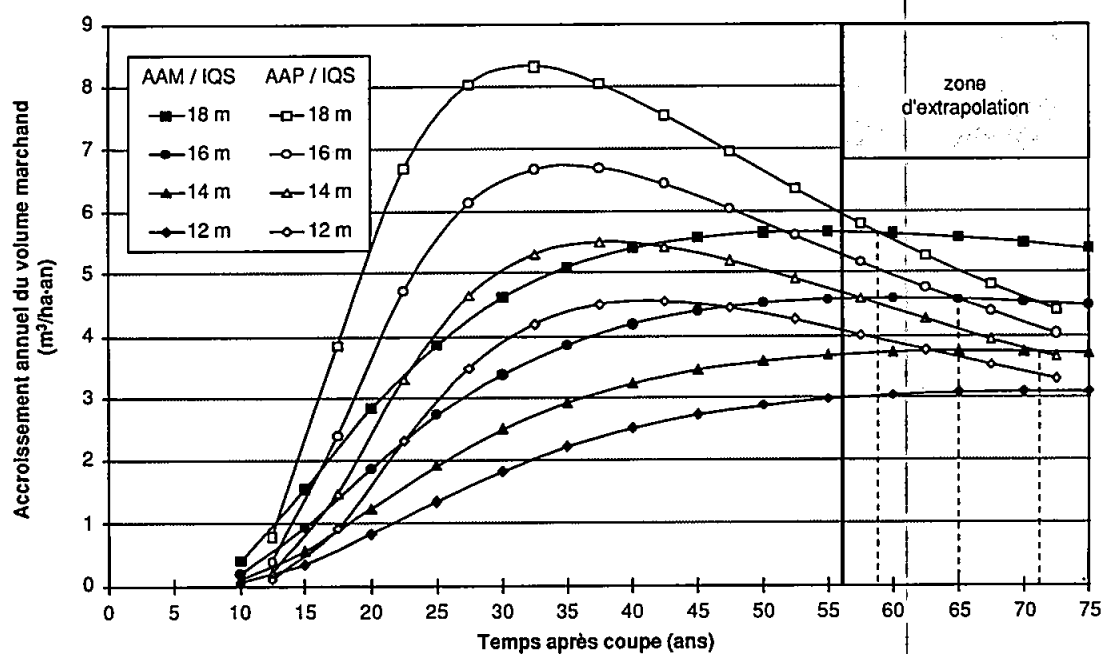


Figure 8. Accroissements annuels moyens (AAM) et périodiques (AAP) du volume marchand toutes essences en fonction du temps écoulé et de l'indice de qualité de station pour une surface terrière totale de $8,5 \text{ m}^2/\text{ha}$ 10 ans après la coupe.

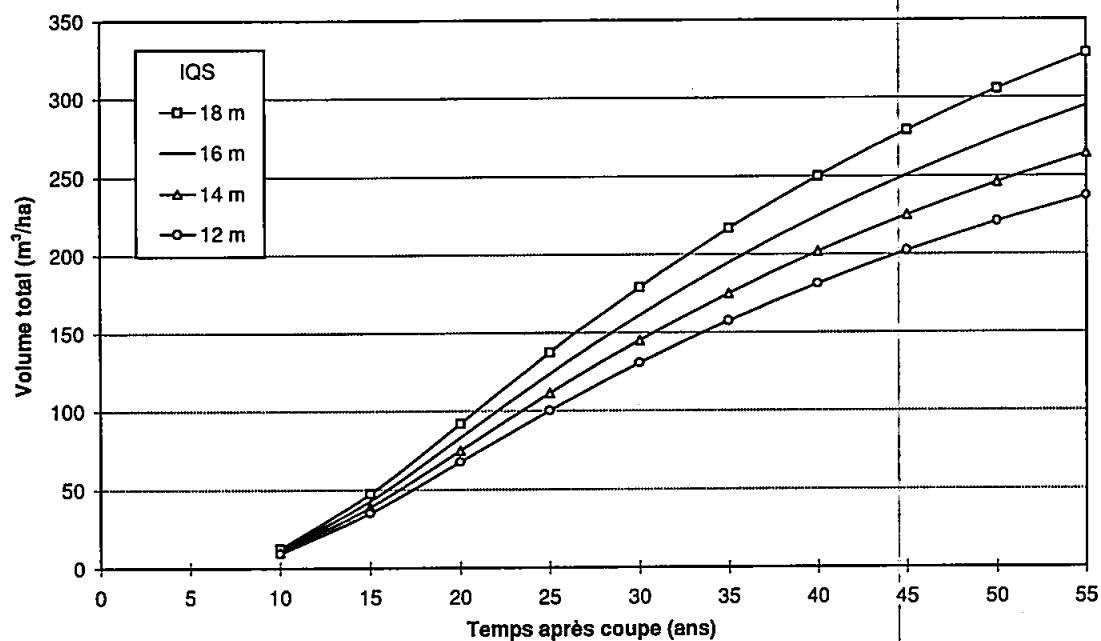


Figure 9. Évolution du volume total toutes essences en fonction du temps écoulé et de l'indice de qualité de station pour une surface terrière totale de $8,5 \text{ m}^2/\text{ha}$ 10 ans après la coupe.

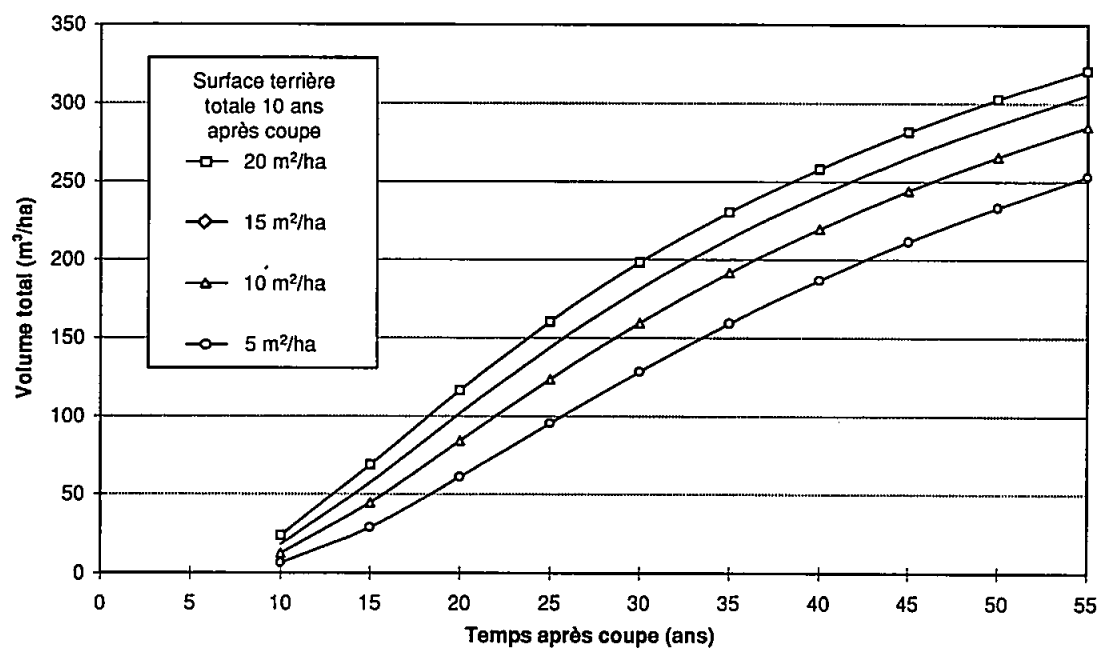


Figure 10. Évolution du volume total toutes essences en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe pour un indice de qualité de station de 14,9 m.

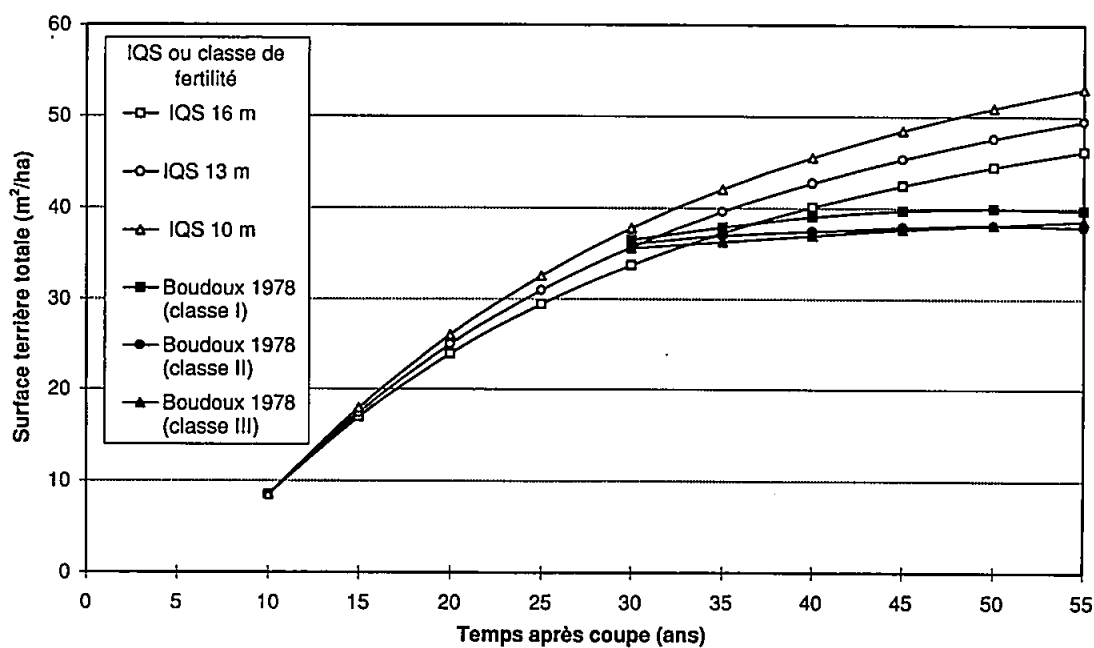


Figure 11. Comparaison des courbes de la surface terrière totale toutes essences en fonction du temps écoulé et de l'indice de qualité de station pour une surface terrière totale de 8,5 m²/ha 10 ans après la coupe avec celle de Boudoux (1978) correspondantes.

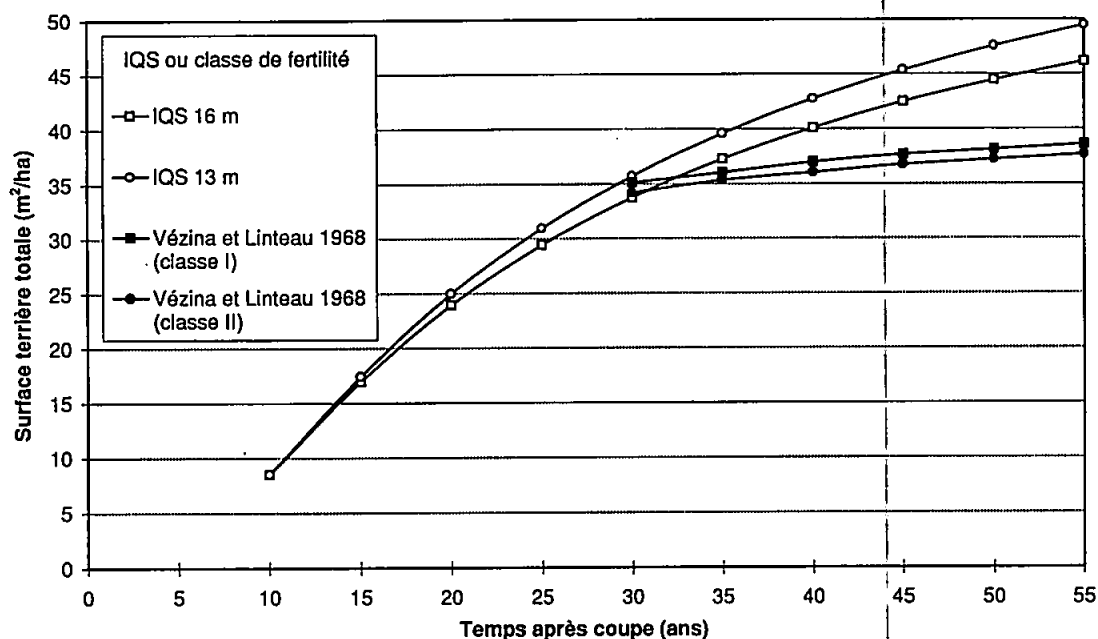


Figure 12. Comparaison des courbes de la surface terrière totale toutes essences en fonction du temps écoulé et de l'indice de qualité de station pour une surface terrière totale de $8,5 \text{ m}^2/\text{ha}$ 10 ans après la coupe avec celle de Vézina et Linteau (1968) correspondantes.

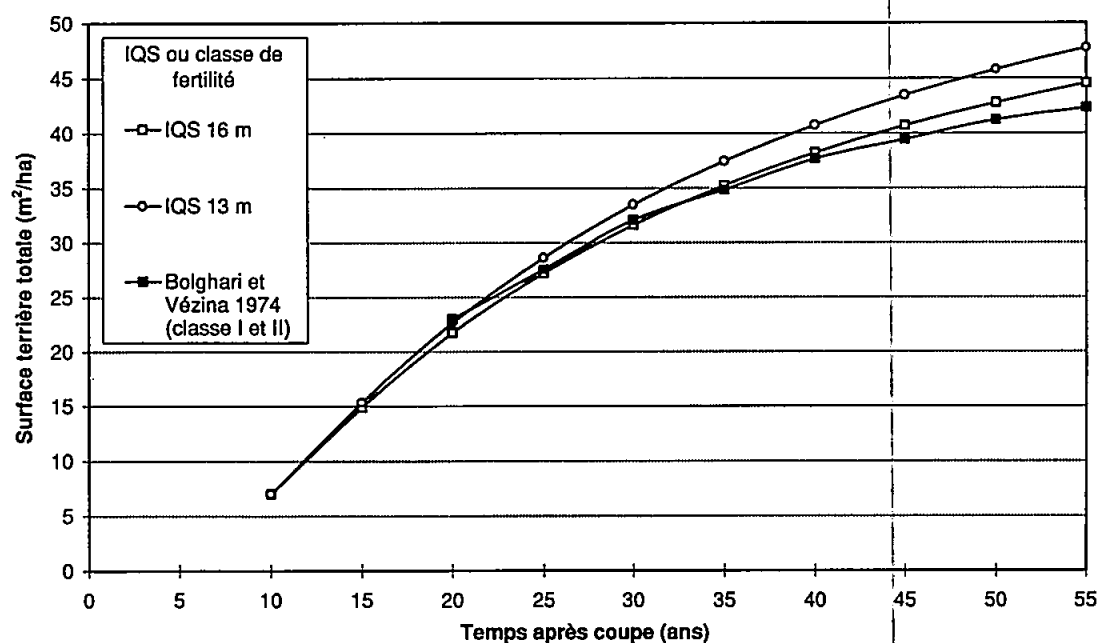


Figure 13. Comparaison des courbes de la surface terrière totale toutes essences en fonction du temps écoulé et de l'indice de qualité de station pour une surface terrière totale de $7 \text{ m}^2/\text{ha}$ 10 ans après la coupe avec celle de Bolghari et Vézina (1974) correspondantes.

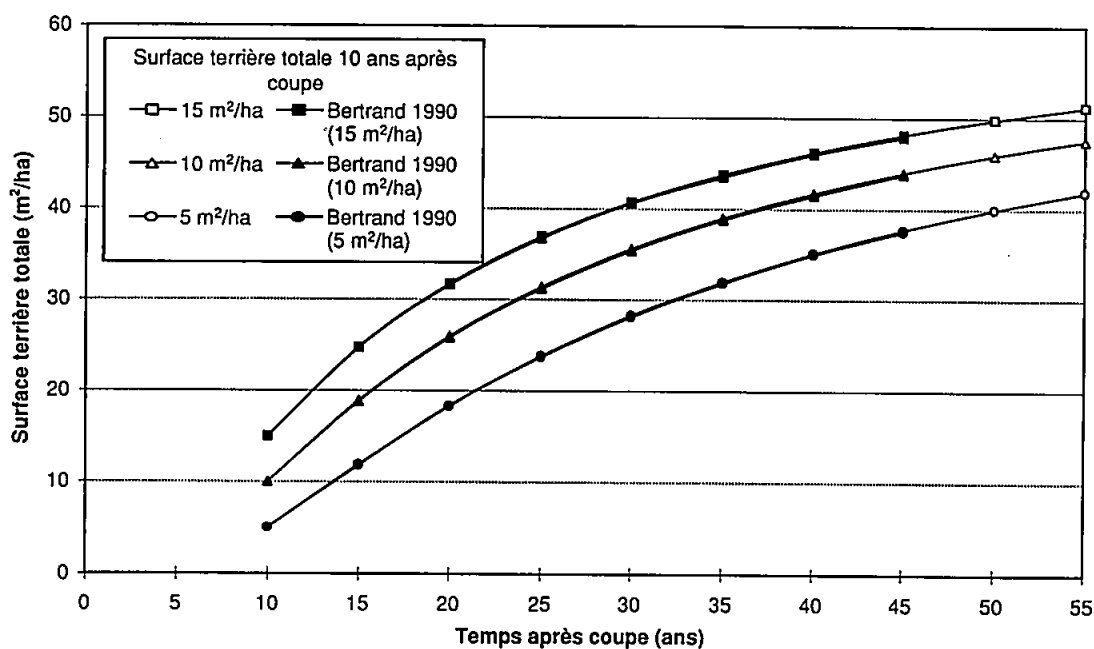


Figure 14. Comparaison des courbes de la surface terrière totale toutes essences en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe pour un indice de qualité de station de 16 m avec celle de Bertrand *et al.* (1992) correspondantes.

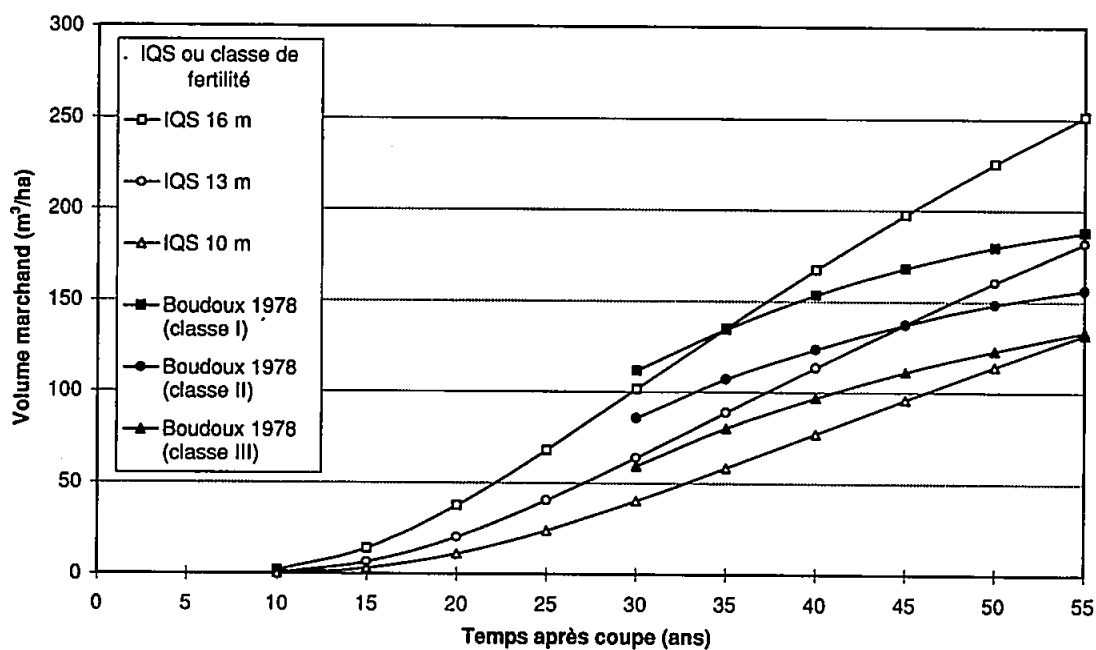


Figure 15. Comparaison des courbes du volume marchand toutes essences en fonction du temps écoulé et de l'indice de qualité de station pour une surface terrière totale de 8,5 m^2/ha 10 ans après la coupe avec celle de Boudoux (1978) correspondantes.

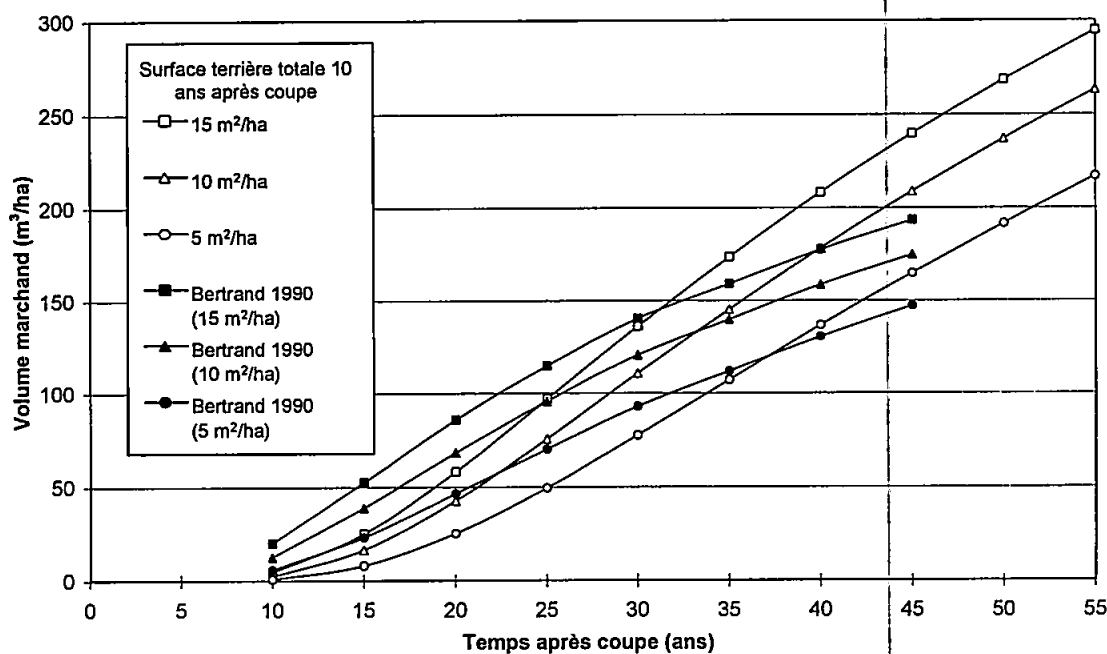


Figure 16. Comparaison des courbes du volume marchand toutes essences en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe pour un indice de qualité de station de 16 m avec celle de Bertrand *et al.* (1992) correspondantes.

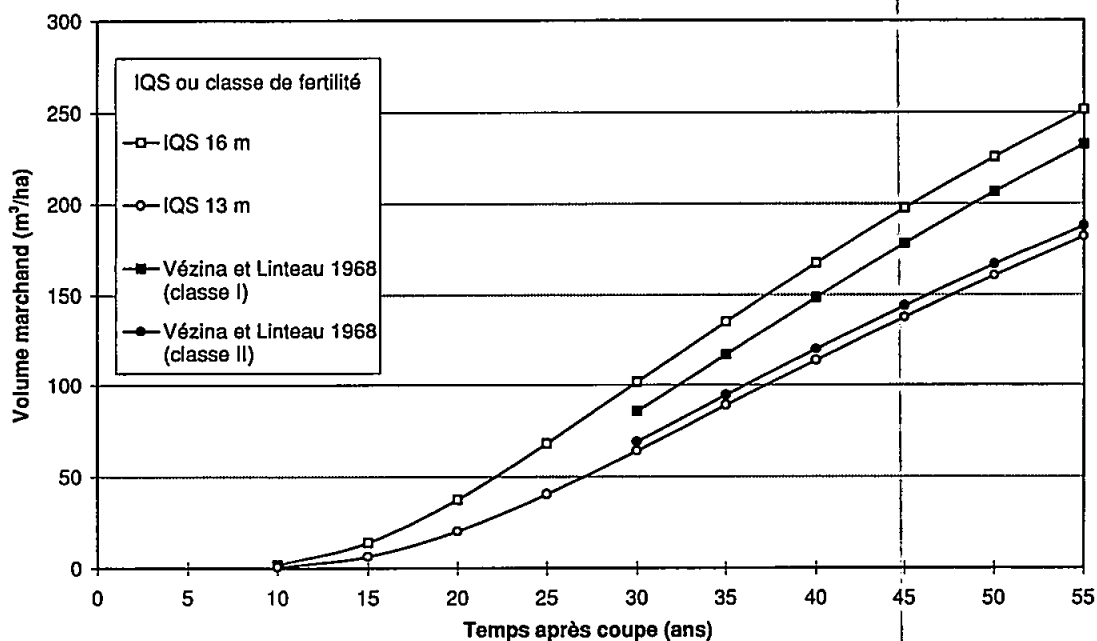


Figure 17. Comparaison des courbes du volume marchand toutes essences en fonction du temps écoulé et de l'indice de qualité de station pour une surface terrière totale de 8,5 m^2/ha 10 ans après la coupe avec celle de Vézina et Linteau (1968) correspondantes.

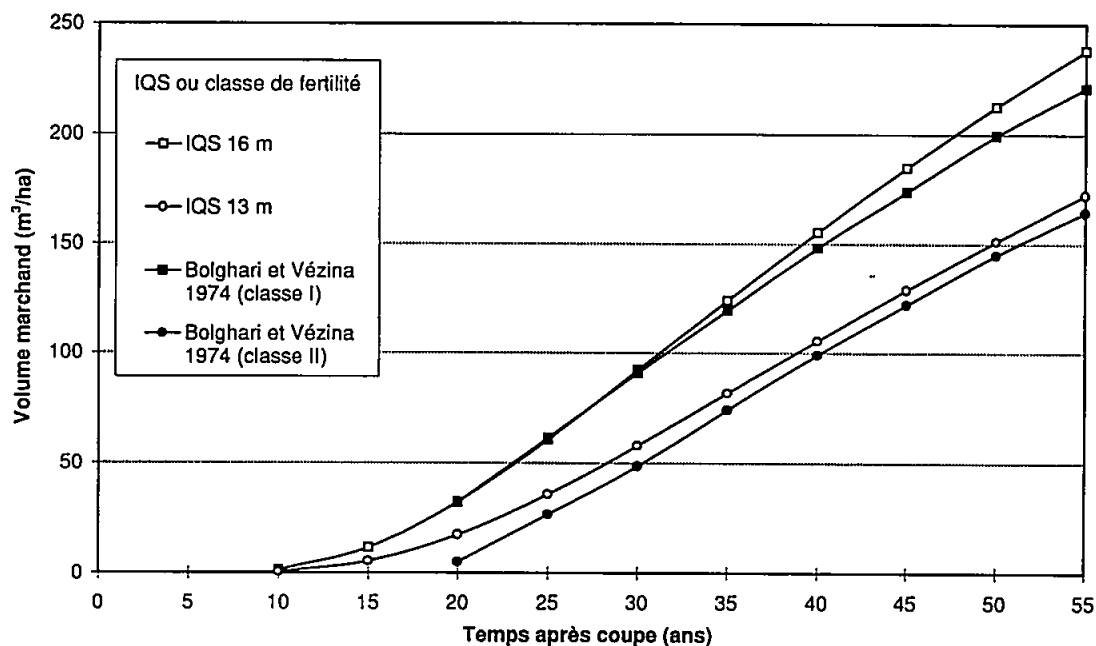


Figure 18. Comparaison des courbes du volume marchand toutes essences en fonction du temps écoulé et de l'indice de qualité de station pour une surface terrière totale de $7 \text{ m}^2/\text{ha}$ 10 ans après la coupe avec celle de Bolghari et Vézina (1974) correspondantes.

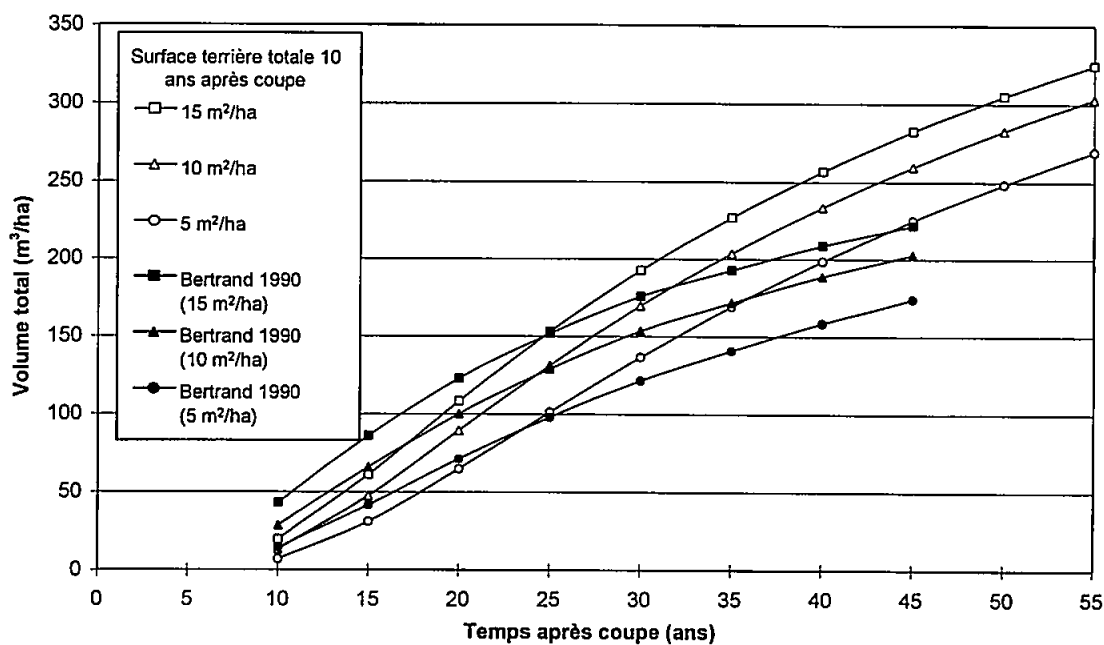


Figure 19. Comparaison des courbes du volume total toutes essences en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe pour un indice de qualité de station de 16 m avec celle de Bertrand et al. (1992) correspondantes.

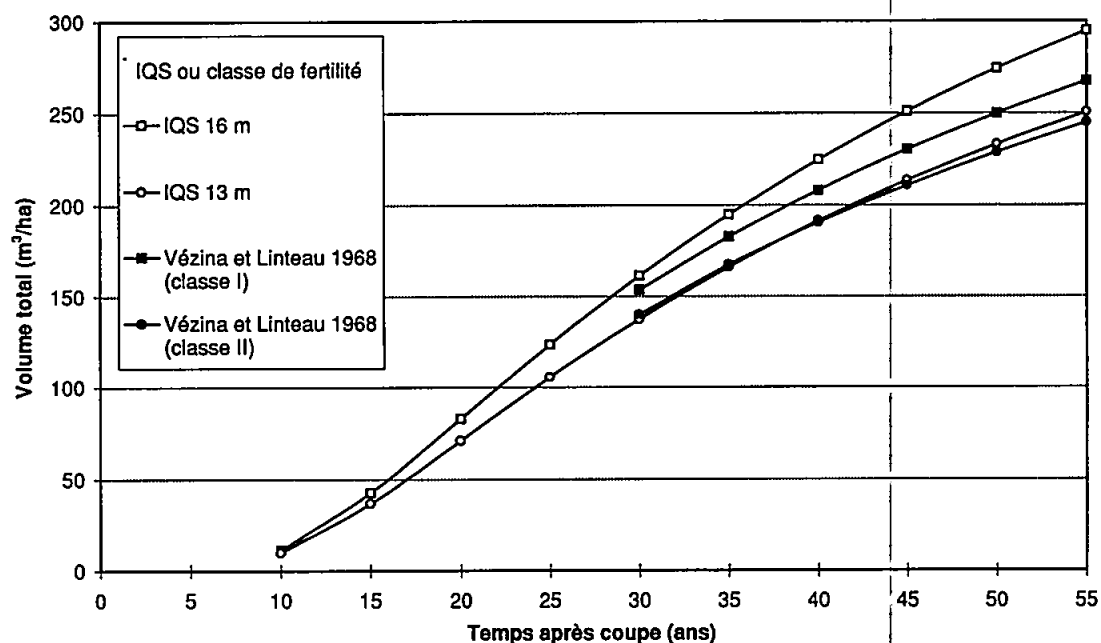


Figure 20. Comparaison des courbes du volume total toutes essences en fonction du temps écoulé et de l'indice de qualité de station pour une surface terrière totale de 8,5 m²/ha 10 ans après la coupe avec celle de Vézina et Linteau (1968) correspondantes.

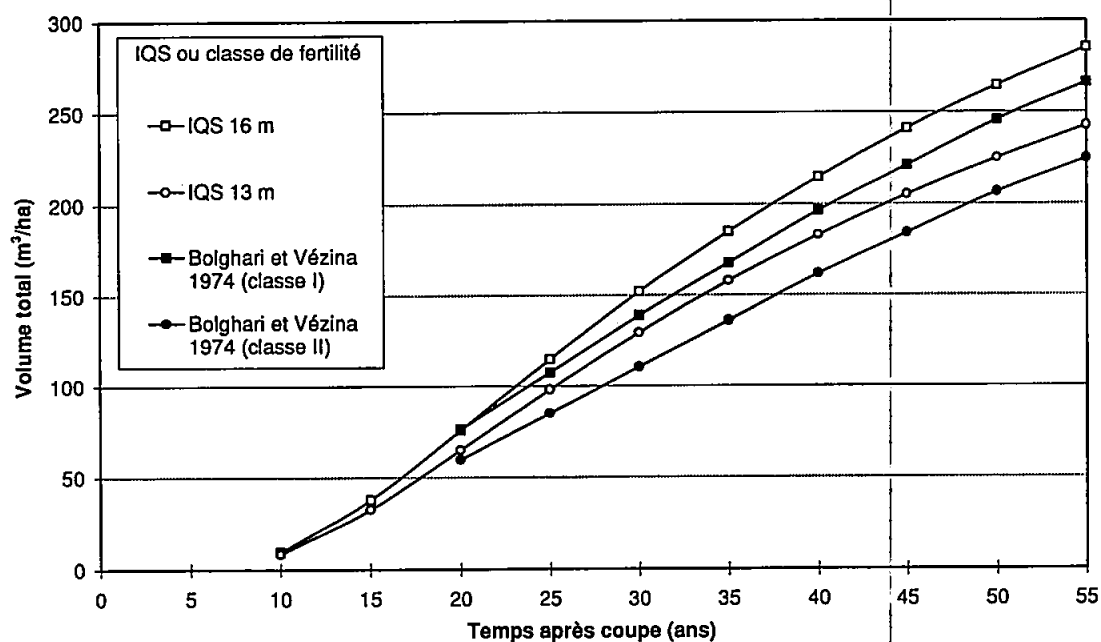


Figure 21. Comparaison des courbes du volume total toutes essences en fonction du temps écoulé et de l'indice de qualité de station pour une surface terrière totale de 7 m²/ha 10 ans après la coupe avec celle de Bolghari et Vézina (1974) correspondantes.

Tableau 8. Indice de qualité de station moyen (hauteur à 50 ans) de chacune des phases écologiques

Phase écologique ¹	Nombre d'observations	Moyenne	Maximum	Minimum	Écart type
Shr/8sg 31	14	17,0	19,4	15,5	1,0
Shr/1sg 21	5	16,9	17,8	16,0	0,7
Shrh/8sg 41	2	16,6	16,6	16,6	0,0
Shr/1sg 31	11	16,2	17,7	13,3	1,2
Shrh/8sg 51	6	15,3	17,9	13,6	1,5
Shm/1sg 30	10	14,8	17,2	11,8	1,5
Shm/8sg 30	16	13,9	18,9	10,3	2,3
Sms/1ay 40	2	12,7	13,0	12,4	0,4
Sm/1sg 40	6	11,9	14,8	9,6	1,9
Shm/1ay 30	5	11,6	12,7	10,6	0,9
SEs/1sg 50	2	11,2	12,0	10,4	1,1

¹ Voir tableau 6 pour la signification des symboles.

Tableau 9. Analyse de variance des indices de qualité de station en fonction des phases écologiques

Source	DL	SC	MC	F	PF
Modèle	9	270,5242	27,0524	11,1000	0,0001
Erreur	69	165,7444	2,4374		
Total	78	436,2686			

R² : 0,62

C.V. : 10,51

DL : degrés de liberté; SC : somme des carrés; MC : moyenne des carrés.

Tableau 10. Groupement des phases écologiques avec le test de Duncan

Phase écologique ¹	Nombre d'observations	Moyenne	Groupement ²			
Shr/8sg 31	14	17,0	A			
Shr/1sg 21	5	16,9	A			
Shrh/8sg 41	2	16,6	A			
Shr/1sg 31	11	16,2	A			
Shrh/8sg 51	6	15,3	A	B		
Shm/1sg 30	10	14,8	A	B	C	
Shm/8sg 30	16	13,9		B	C	D
Sms/1ay 40	2	12,7			C	D
Sm/1sg 40	6	11,9				D
Shm/1ay 30	5	11,6				D
SEs/1sg 50	2	11,6				D

¹ Voir tableau 6 pour la signification des symboles.

² Les phases écologiques nommées par les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil $\alpha = 0,05$.

Gras : analyses diagnostiques ayant servi à définir les groupes écoforestiers.

Les courbes des équations de Bertrand *et al.* (1992) sont, quant à elles, identiques aux courbes obtenues, comme on peut le voir à la figure 14.

3.1.2.2. Volume marchand

Les tables empiriques de Boudoux (1978) tendent à plafonner beaucoup plus rapidement que les nôtres (figure 15). Les âges d'exploitabilité absolus calculés par ce même auteur sont par le fait même plus jeunes que ceux obtenus dans notre étude, où ils varient entre 39 et 55 ans. Les mêmes constats s'appliquent aux résultats de Bertrand *et al.* (1992), c'est-à-dire que l'évolution du volume marchand plafonne plus rapidement (figure 16) et que les âges d'exploitabilité absolus sont aussi tous inférieurs aux âges calculés dans la présente étude. La comparaison de cette équation avec la table de Vézina et Linteau (1968), illustrée à la figure 17, laisse voir des courbes pratiquement semblables. Avec cette similitude, il va sans dire que les âges d'exploitabilité absolus sont eux aussi semblables. Les courbes de Bolghari et Vézina (1974) sont, elles aussi, similaires aux nôtres (figure 18).

3.1.2.3. Volume total

Lorsqu'on les compare à la table de Bertrand *et al.* (1992), les courbes obtenues pour le volume total ont un taux supérieur d'accroissement (figure 19) et ce, bien qu'elles aient été calibrées avec le même dispositif. Par contre, la superposition de l'équation calculée selon la table de Vézina et Linteau (1968), illustrée à la figure 20, laisse voir que les courbes sont très ressemblantes. Finalement, les courbes de Bolghari et Vézina (1974) sont, elles aussi, similaires à celles obtenues ici (figure 21).

3.2. Modèles pour les groupes écoforestiers

3.2.1. Regroupement des phases écologiques en groupes écoforestiers

L'indice de qualité de station moyen des phases écologiques va de 17,0 m dans le cas des sapinières à herbacées riches sur dépôts d'altération épais modérément bien drainés avec drainage oblique, à 11,2 m pour les sapinières à épinette noire et à sphagnum sur tills épais avec mauvais drainage (tableau 8). On peut aussi noter au tableau 8 qu'il subsiste à l'intérieur de chaque type une variation plus ou moins importante de l'IQS de telle sorte que les types voisins de par leur IQS moyen se recoupent. Le continuum ainsi formé explique 62 % de la variation totale des IQS (tableau 9).

Le regroupement des phases écologiques en groupes écoforestiers a été réalisé à la lumière du test de Duncan présenté au tableau 10. Les caractéristiques physiques et végétales des stations ont également été considérées afin d'obtenir des groupes de sapinières relativement homogènes quant à leurs contraintes aux opérations et à leurs réactions aux traitements sylvicoles. Les groupes de sapinières ainsi formés (tableau 11) expliquent 58 % de la variation des IQS (tableau 12) et sont:

- i) le groupe des sapinières riches (groupe riche) : sapinières à herbacées sur station riche ou riche humide, caractérisée par des sols épais bénéficiant d'un drainage bon à imparfait avec drainage oblique et ayant un potentiel de production très élevé;
- ii) le groupe des sapinières moyennes (groupe moyen) : sapinières à herbacées et mousses sur stations à drainage modéré et sapinières à herbacées riches sur stations très humides avec drainage oblique, caractérisées par des dépôts épais offrant une bonne croissance;
- iii) le groupe des sapinières pauvres (groupe pauvre) : sapinières à herbacées et mousses modérément bien drainées, sapinières à mousses et sphagnum mal drainées, caractérisées par des limitations modérées à la croissance occasionnées par la pierrosité ou un drainage déficient.

En termes d'IQS moyen, les groupes écoforestiers des sapinières riches, moyennes et pauvres correspondent respectivement aux classes de qualité de station I+, I- et II (tableau 11) proposées par Bélanger *et al.* (1995) et s'inspirent de celles de Linteau (1955). La fourchette d'IQS de chacune de ces classes de qualité de station et par le fait même des groupes correspondants est plus ou moins étendue selon les valeurs observées dans les placettes inventoriées (tableau 13). Les valeurs d'IQS moyen des trois classes sont (tableaux 10, 11 et 13):

- i) de 16 m et plus
pour les classes de qualité de station I+;
- ii) comprises entre 13,5 et 16 m
pour les classes de qualité de station I-;
- iii) inférieures à 13,5 m
pour les classes de qualité de station II.

3.2.2. Modélisation de la production avec les groupes écoforestiers

Chaque groupe écoforestier a servi à établir des relations de production spécifiques en volumes (total et marchand) et en surface terrière totale. Pour les

Tableau 11. Description des groupes éco-forestiers et classes de qualité de station du dispositif de la rivière Matane

Groupe écoforestier	Classe de qualité de station	Station forestière	Description	Phases écologiques
Groupe des sapinières riches	I+	Station mésique riche	Dépôts épais (> 1 m) bien à modérément bien drainés avec drainage oblique	Shr/1sg 21-31 Shr/8sg 31
		Station humide riche	Dépôts épais (> 1 m) imparfaitement drainés avec drainage oblique	Shr/8sg 41
Groupe des sapinières moyennes	I-	Station mésique	Dépôts épais (> 1 m) modérément bien drainés	Shm/1sg 30 Shm/8sg 30
		Station très humide riche	Dépôts épais (> 1 m) mal drainés avec drainage oblique	Shrh/8sg 51
Groupe des sapinières pauvres	II	Station mésique mince	Dépôts moyennement épais (< 1 m) modérément bien drainés	Shm/1ay 30
		Station humide mince	Dépôts moyennement épais (< 1 m) imparfaitement drainés	Sms/1ay 40
		Station humide	Dépôts épais (< 1 m) imparfaitement drainés	Sms/1sg 40
		Station très humide	Dépôts épais (< 1 m) imparfaitement drainés	SEs/1sg 50

Tableau 12. Analyse de variance des indices de qualité de station en fonction des groupes écoforestiers

Source	DL	SC	MC	F	P > F
Modèle	2	252,0610	126,0305	52,0000	0,0001
Erreur	76	184,2075	2,4238		
Total	78	436,2686			

R² : 0,58

C.V. : 10,48

DL : degrés de liberté; SC : somme des carrés; MC : moyenne des carrés.

Tableau 13. Indice de qualité de station moyen (hauteur à 50 ans à hauteur de poitrine) de chacun des groupes écoforestiers et de chaque classe de qualité de station

Groupe écoforestier ¹	Classe de qualité de station	Nombre d'observations	Moyenne	Maximum	Minimum	Écart type
Sapinières riches	Excellente (I+)	32	16,7	19,4	13,3	1,1
Sapinières moyennes	Très bonne (I-)	32	14,4	18,9	10,3	2,0
Sapinières pauvres	Modérée (II)	15	11,8	14,8	9,7	1,4

¹ Voir tableau 11 pour la description des groupes écoforestiers.

groupes riche et moyen, l'horizon observé couvre 10 à 56 ans après la coupe alors qu'il arrête à 45 ans dans le cas du groupe pauvre.

Les équations obtenues décrivent l'évolution des peuplements pour une certaine fourchette d'IQS autour des IQS moyens des sapinières riches, moyennes ou pauvres qui sont respectivement de 16,7 m, 14,4 m et 11,8 m (tableau 13). Pour juger de la capacité des groupes écoforestiers à exprimer la productivité potentielle des stations (IQS), les caractéristiques statistiques de chaque équation ont été comparées à celles d'une autre équation établie avec les mêmes données, mais ayant en plus comme variable explicative l'IQS. Lorsque cela s'impose, un test de sous-ensemble de paramètres avec l'IQS a aussi été réalisé. En ce qui a trait aux représentations graphiques où les trois groupes de sapinières sont illustrés, la surface terrière totale initiale est de 8,5 m²/ha (figures 22, 26 et 33). Quant aux surfaces terrières totales initiales employées dans les graphiques illustrant chaque groupe écoforestier individuellement (figures 23 à 25, 27 à 32, 34 à 36), elles ont été fixées de manière à ce qu'elles couvrent l'ensemble des surfaces terrières totales observées dans les 52 placettes sur 79 inventoriées 10 ans après la coupe (tableau 14).

Il faut préciser que parmi les équations calibrées, celles du volume total et du volume marchand pour le groupe moyen et le groupe pauvre ne sont pas statistiquement différentes. D'autre part, les équations de la surface terrière totale pour le groupe riche et le groupe moyen sont elles aussi statistiquement semblables.

3.2.2.1. Surface terrière totale

Les équations de la surface terrière totale sont:

- pour le groupe des sapinières riches

$$[17] \ln STT_1 = (T_0/T_1) \ln STT_0 + 4,20386 (1 - T_0/T_1)$$

- pour le groupe des sapinières moyennes

$$[18] \ln STT_1 = (T_0/T_1) \ln STT_0 + 4,18533 (1 - T_0/T_1)$$

- pour le groupe des sapinières pauvres

$$[19] \ln STT_1 = (T_0/T_1) \ln STT_0 + 4,48274 (1 - T_0/T_1)$$

Ces équations, significatives au niveau $\alpha = 0,01$ ($P > F = 0,0001$), ont un écart type résiduel de 0,15, 0,25 et 0,19 alors que leur coefficient de variation est respectivement de 4,31 %, 7,13 % et 5,53 % (tableau 15). L'évolution de la surface terrière totale de chaque groupe est présentée à la figure 22. D'autre part, on voit aux figures 23, 24 et 25 les familles de courbes

engendrées par diverses surfaces terrières totales initiales dans chaque équation. Les valeurs calculées pour chaque groupe en fonction de quatre surfaces terrières initiales sont présentées dans les annexes 17 à 28. L'erreur de prédiction des équations calculée avec l'équation 13 en surface terrière totale est respectivement de 3,9 %, 3,1 % et 3,0 %.

3.2.2.2. Volume marchand

L'équation pour le groupe des sapinières riches est la suivante :

$$[20] \ln VM_1 = 2,81754 - 32,05197 (1/T_1) \\ + 0,86729 (T_0/T_1) \ln STT_0 \\ + 3,795425 (1 - T_0/T_1)$$

- pour le groupe des sapinières moyennes :

$$[21] \ln VM_1 = 1,52237 - 48,62490 (1/T_1) \\ + 1,40799 (T_0/T_1) \ln STT_0 \\ + 5,05188 (1 - T_0/T_1)$$

- pour le groupe des sapinières pauvres :

$$[22] \ln VM_1 = -1,91539 - 38,50467 (1/T_1) \\ + 2,46884 (T_0/T_1) \ln STT_0 \\ + 8,36825 (1 - T_0/T_1)$$

Avec des valeurs de Fisher de 169,78, 73,81 et 25,64, ces équations sont toutes significatives ($P > F = 0,0001$) (tableau 16). La proportion de la variation expliquée par ces équations est respectivement de 85 %, 73 % et 79 % et ce, avec des coefficients de variation de 4,70 %, 12,65 % et 10,87 % (tableau 16). L'erreur de prédiction respective en volume marchand est, quant à elle, de 0,7 %, 4,0 % et 9,2 %. L'évolution du volume marchand en fonction du groupe est traduite graphiquement à la figure 26. Les courbes produites par différentes surfaces terrières totales 10 ans après la coupe et ce, pour chaque groupe, sont illustrées aux figures 27, 28 et 29. Les trois figures 30 à 32 présentent les accroissements de chaque groupe pour les mêmes niveaux de surface terrière totale initiale que précédemment. Il est alors possible de déterminer l'âge d'exploitabilité absolu du groupe écoforestier en regard de la densité initiale. Par exemple pour une surface terrière totale de 10 m²/ha 10 ans après la coupe, l'âge d'exploitabilité absolu est d'environ 55 ans pour le groupe riche alors qu'il est de plus de 70 ans, déterminé par extrapolation, pour les groupes écoforestiers des sapinières moyennes et pauvres. Les valeurs obtenues sont présentées aux annexes 17 à 28.

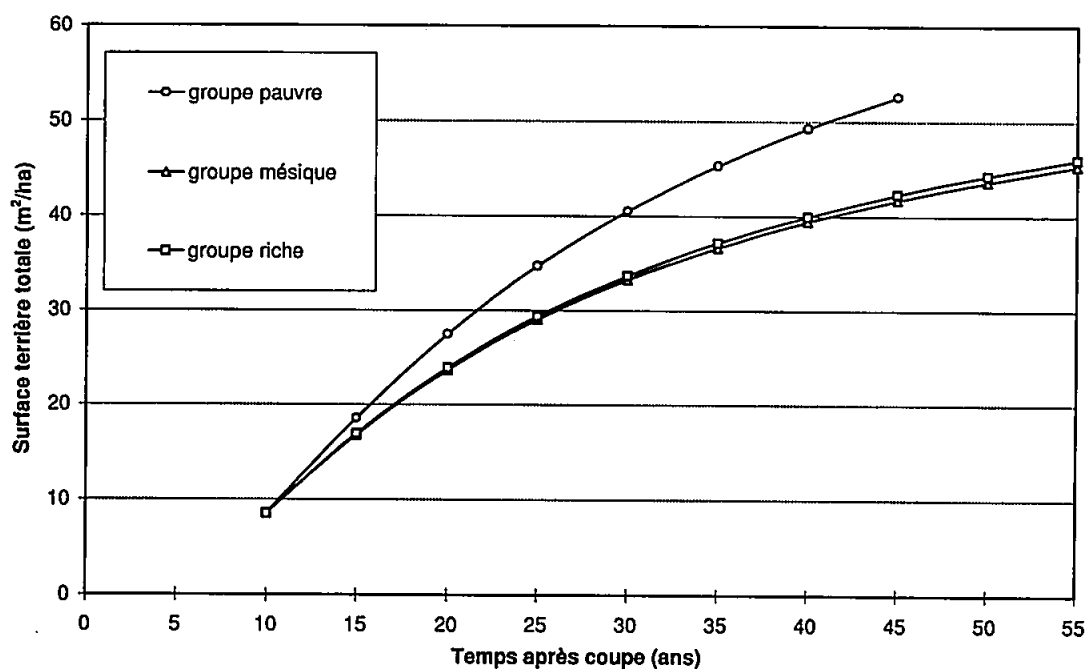


Figure 22. Évolution de la surface terrière totale toutes essences en fonction du temps écoulé et du groupe écoforestier pour une surface terrière totale de $8,5 \text{ m}^2/\text{ha}$ 10 ans après la coupe

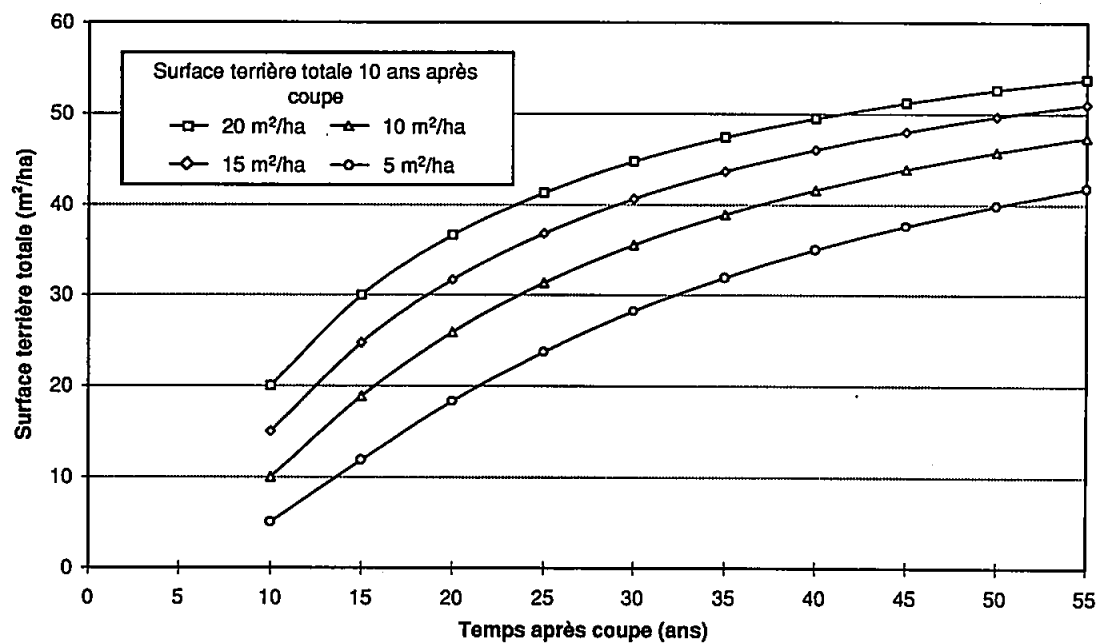


Figure 23. Évolution de la surface terrière totale toutes essences du groupe des sapinières riches en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe.

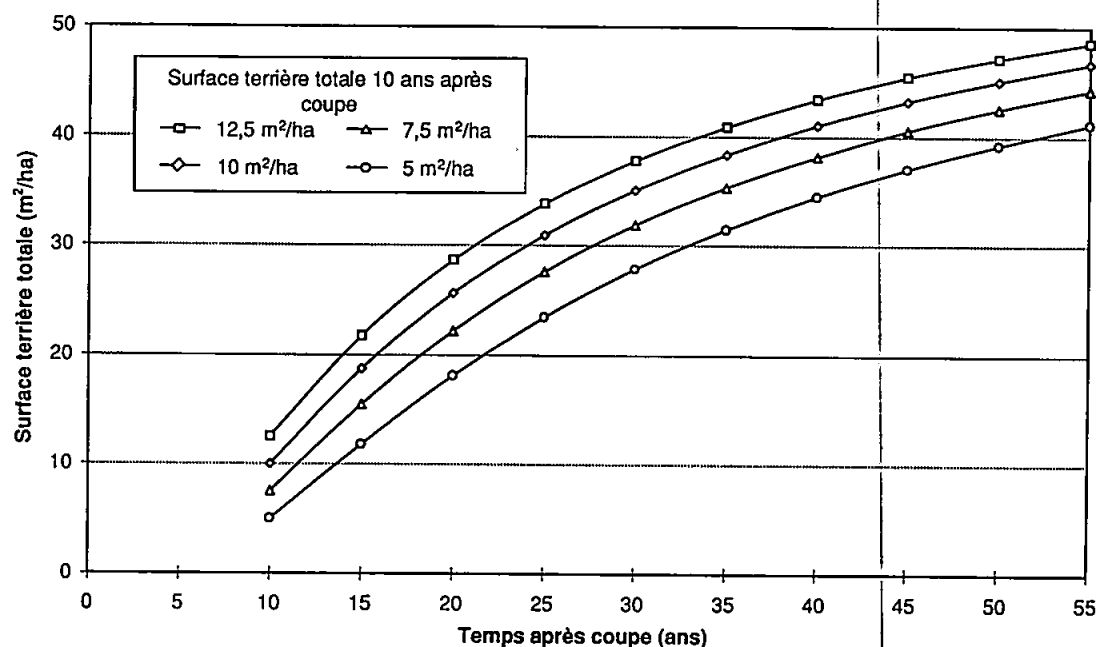


Figure 24. Évolution de la surface terrière totale toutes essences du groupe des sapinières moyennes en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe.

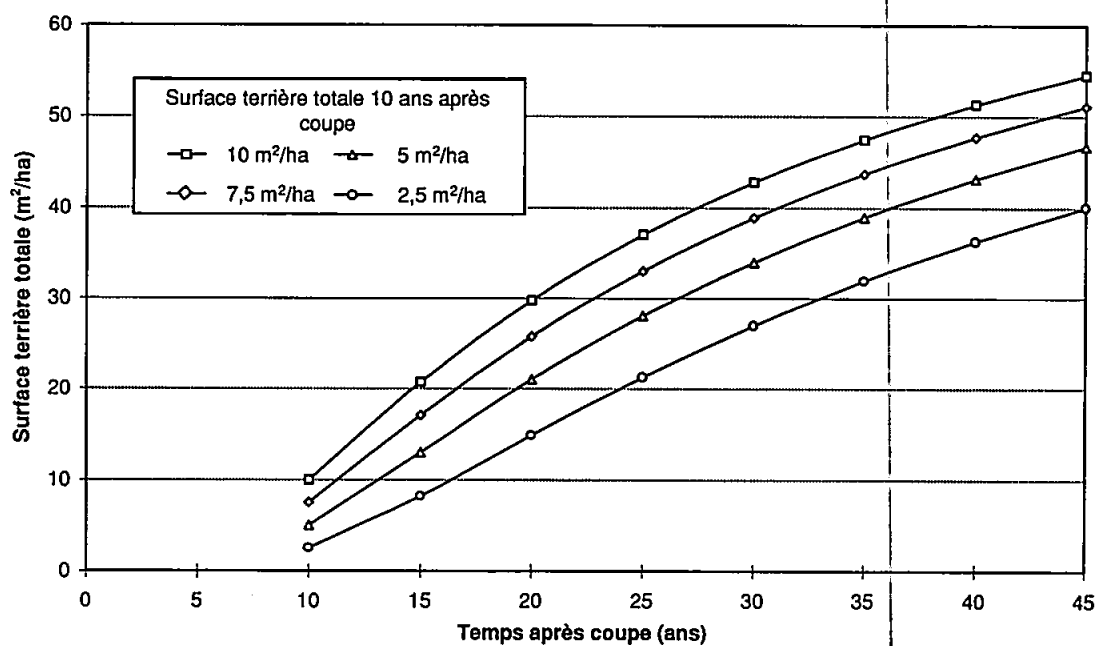


Figure 25. Évolution de la surface terrière totale toutes essences du groupe des sapinières pauvres en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe.

Tableau 14. Surface terrière totale (m²/ha) des groupes écoforestiers observée 10 ans après la coupe

Groupe écoforestier ¹	Nombre d'observations	Moyenne	Maximum	Minimum	Écart type
Sapinières riches	18	11,9	25,9	2,6	5,9
Sapinières moyennes	25	8,1	18,9	1,4	4,9
Sapinières pauvres	14	4,8	10,7	0,8	2,7

¹ Voir tableau 11 pour la description des groupes écoforestiers.

Tableau 15. Caractéristiques statistiques de l'équation de la surface terrière totale pour le groupe des sapinières riches, moyennes et pauvres

Caractéristiques du modèle / Niveau de signification des paramètres				
Surface terrière totale				
Statistiques / variables	DL	Sapinières riches	Sapinières moyennes	Sapinières pauvres
Valeur de Fisher		49737,9060	17451,4670	8177,8660
Prob. > Fisher		0,0001	0,0001	0,0001
Écart type résiduel		0,1535	0,2458	0,1907
Coefficient de variation		4,3168	7,1289	5,5340
1 - T ₀ / T ₁	1	0,0001	0,0001	0,0003

DL : degrés de liberté

Tableau 16. Caractéristiques statistiques de l'équation du volume marchand pour le groupe des sapinières riches, moyennes et pauvres

Caractéristiques du modèle / Niveau de signification des paramètres				
Statistiques / variables	DL	Sapinières riches	Sapinières moyennes	Sapinières pauvres
Valeur de Fisher		169,7800	73,8140	25,6360
Prob. > Fisher		0,0001	0,0001	0,0001
Coefficient de détermination		0,8527	0,7250	0,7855
Coefficient de variation		4,6955	12,6465	10,8672
Ordonnée à l'origine	1	0,0001	0,2073	0,4584
1 / T ₁	1	0,0001	0,0001	0,1253
(T ₀ / T ₁) lnSTT ₀	1	0,0001	0,0001	0,0001
1 - T ₀ / T ₁	1	0,0001	0,0001	0,0048

DL : degrés de liberté.

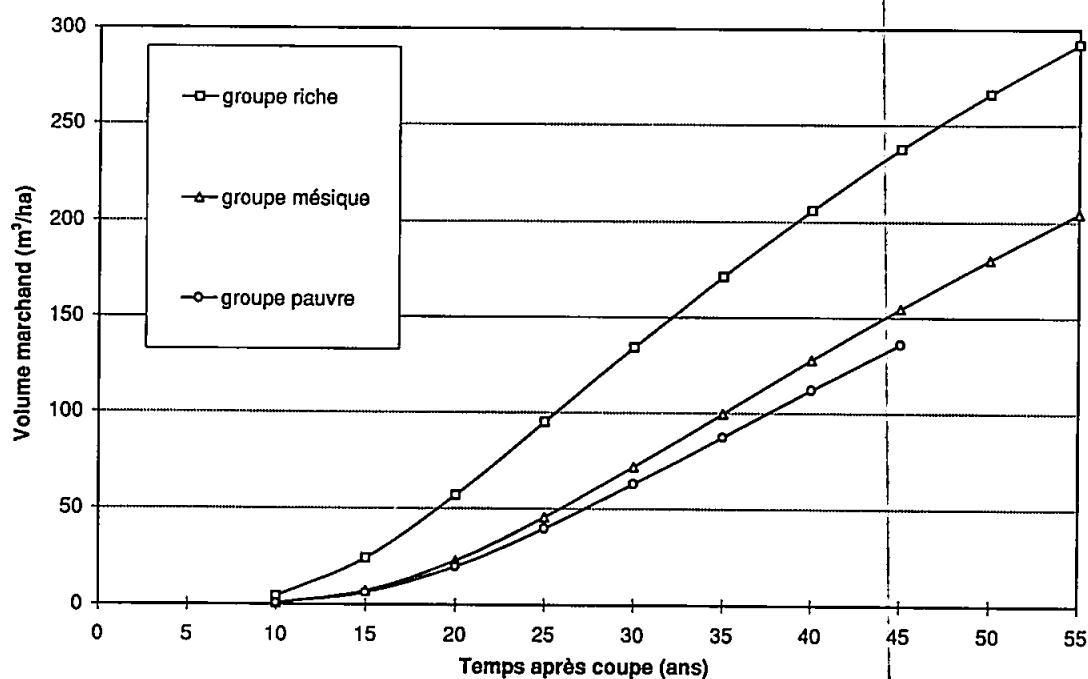


Figure 26. Évolution du volume marchand toutes essences en fonction du temps écoulé et du groupe écoforestier pour une surface terrière totale de $8,5 \text{ m}^2/\text{ha}$ 10 ans après la coupe.

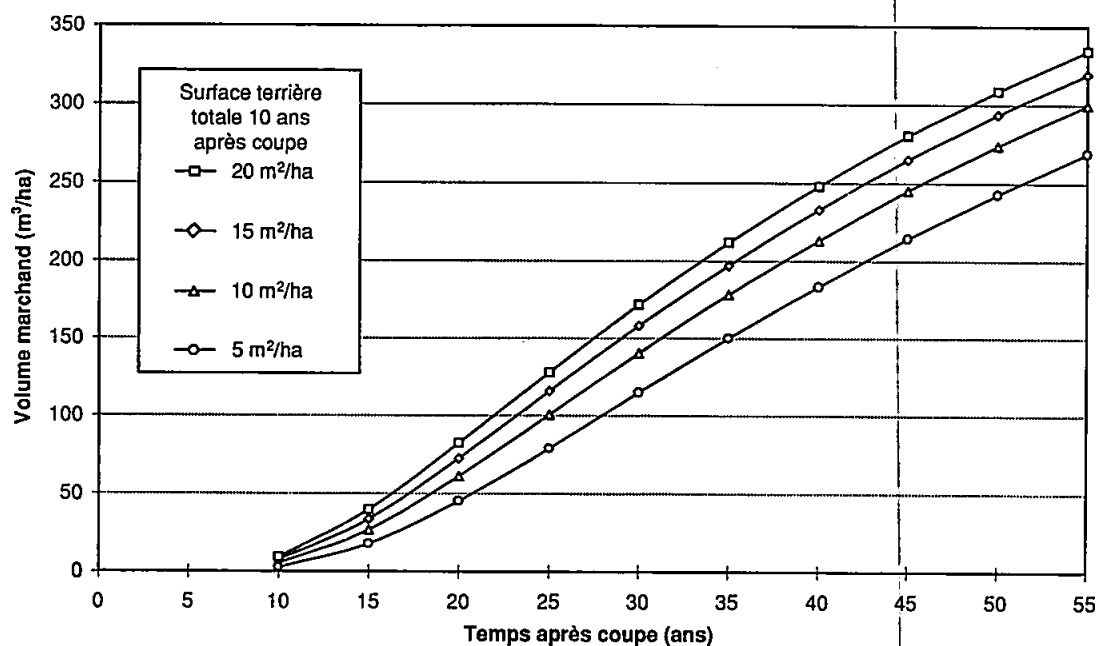


Figure 27. Évolution du volume marchand toutes essences du groupe des sapinières riches en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe.

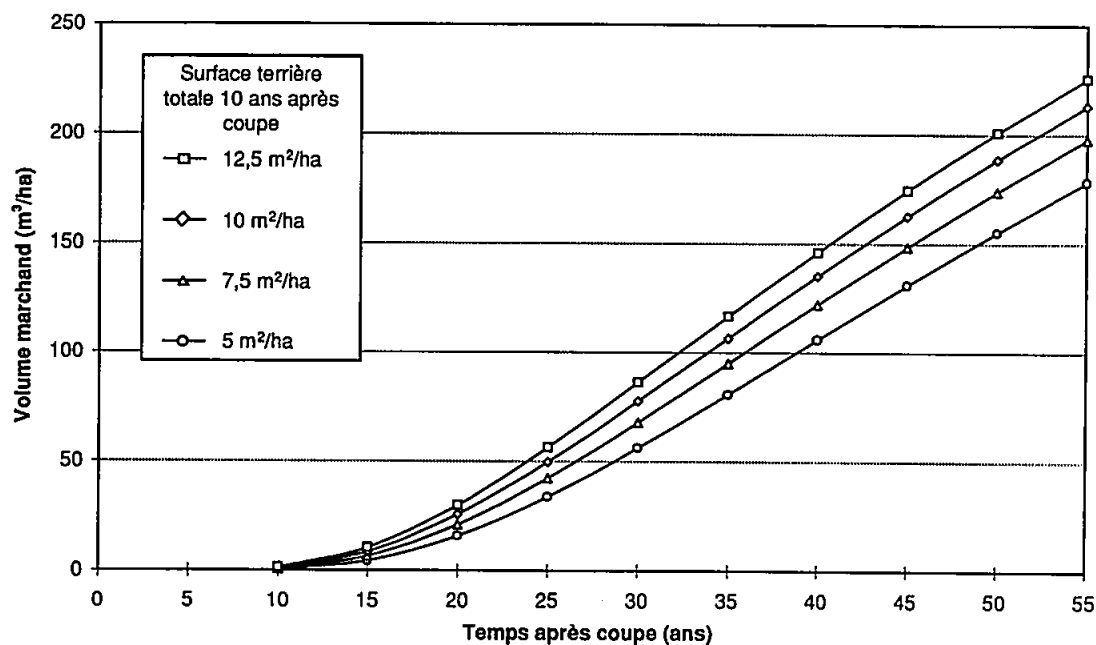


Figure 28. Évolution du volume marchand toutes essences du groupe des sapinières mésiques en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe.

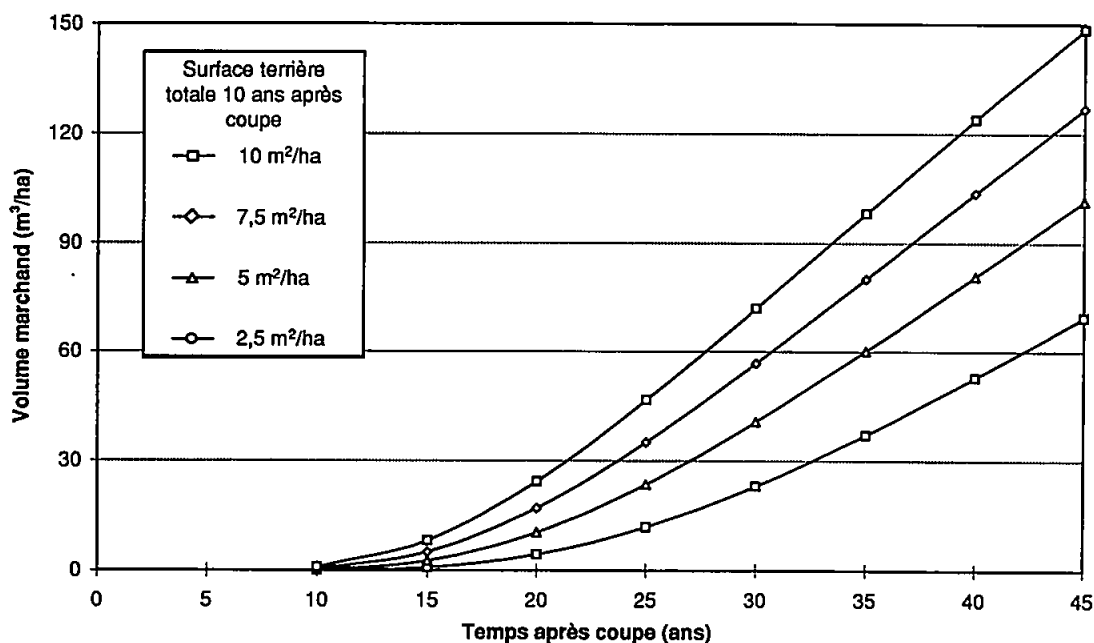


Figure 29. Évolution du volume marchand toutes essences du groupe des sapinières pauvres en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe.

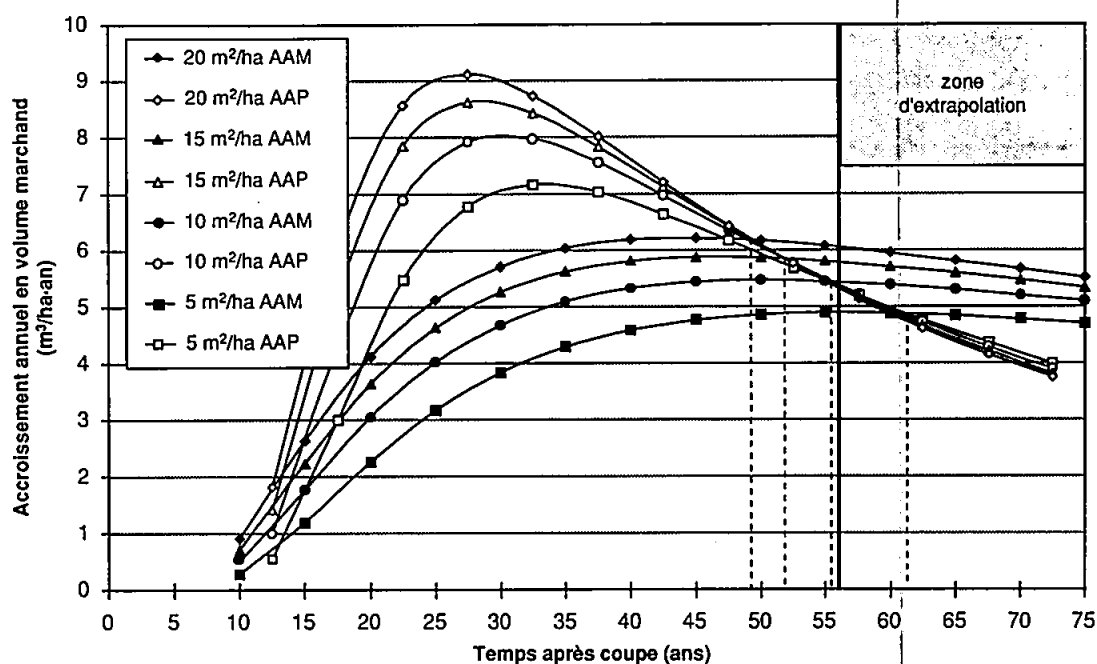


Figure 30. Accroissements annuels moyens (AAM) et périodiques (AAP) du volume marchand toutes essences du groupe des sapinières riches en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe.

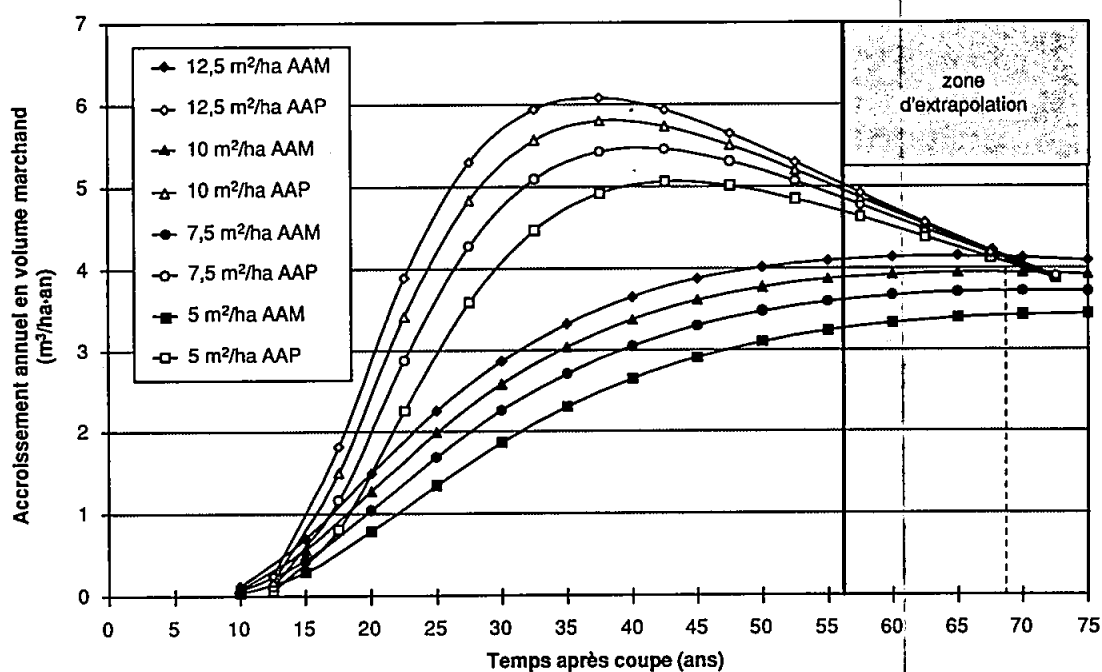


Figure 31. Accroissements annuels moyens (AAM) et périodiques (AAP) du volume marchand toutes essences du groupe des sapinières mésiques en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe.

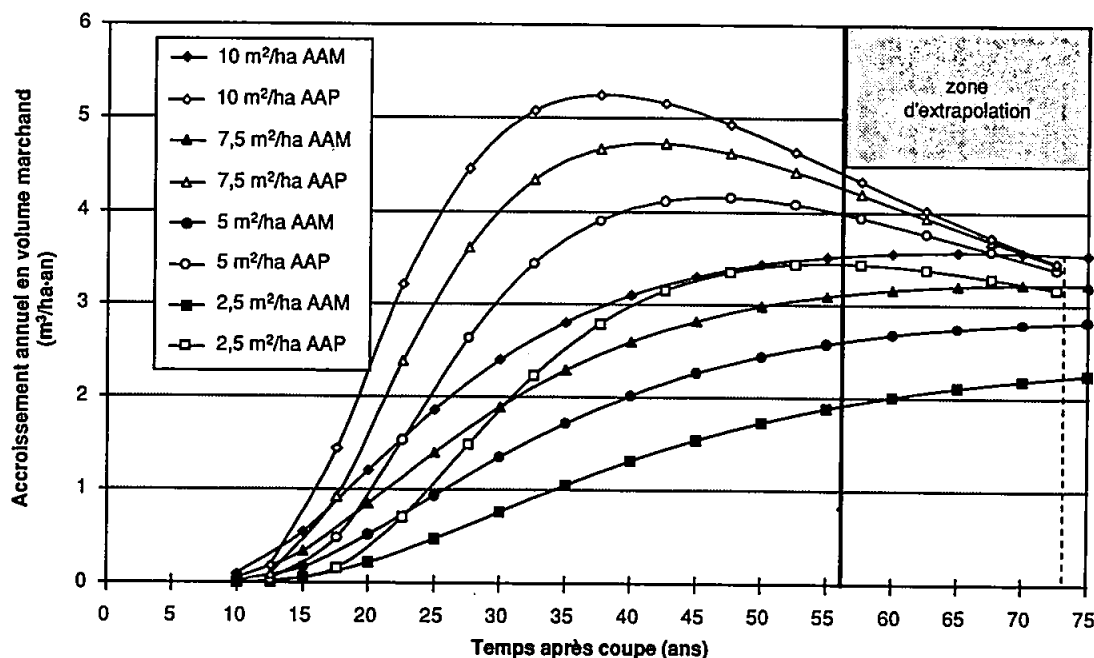


Figure 32. Accroissements annuels moyens (AAM) et périodiques (AAP) du volume marchand toutes essences du groupe des sapinières pauvres en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe.

3.2.2.3. Volume total

Les équations du volume total sont :

- pour le groupe riche :

$$[23] \ln VT_1 = 2,71969 - 20,029831 (1 / T_1) \\ + 0,85391 (T_0 / T_1) \ln STT_0 \\ + 3,77694 (1 - T_0 / T_1)$$

- pour le groupe moyen :

$$[24] \ln VT_1 = 2,99767 - 25,35074 (1 / T_1) \\ + 0,81340 (T_0 / T_1) \ln STT_0 \\ + 3,32235 (1 - T_0 / T_1)$$

- pour le groupe pauvre :

$$[25] \ln VT_1 = 1,24999 - 7,03466 (1 / T_1) \\ + 1,06406 (T_0 / T_1) \ln STT_0 \\ + 4,70725 (1 - T_0 / T_1)$$

Ces équations significatives ($P > F = 0,0001$) ont une qualité d'ajustement de 80 à 92 % et un coefficient de variation respectif de 2,47 %, 4,15 % et 3,50 % (tableau 17). Tous les coefficients associés aux

variables explicatives sont eux aussi significatifs, mis à part ceux pour l'ordonnée à l'origine ($P > F = 0,2458$) et de l'inverse du temps ($1/T_1$) ($P > F = 0,4876$) de l'équation du groupe des sapinières pauvres. L'erreur de prédiction en volume total calculée par l'équation 13 s'élève pour les groupes riche, moyen et pauvre à 0,7 %, 1,3 % et 1,0 %. Les courbes produites par les trois équations sont présentées à la figure 33. L'effet de diverses surfaces terrières totales initiales en fonction du groupe est, quant à lui, présenté aux figures 34 à 36. Les valeurs calculées sont données aux annexes 17 à 28.

*

Tableau 17. Caractéristiques statistiques de l'équation du volume total pour le groupe des sapinières riches, moyennes et pauvres

Caractéristiques du modèle / Niveau de signification des paramètres				
Statistiques / variables	DL	Sapinières riches	Sapinières moyennes	Sapinières pauvres
Valeur de Fisher		347,7240	176,2180	28,7980
Prob. > Fisher		0,0001	0,0001	0,0001
Coefficient de détermination		0,9222	0,8629	0,8045
Coefficient de variation		2,4650	4,1514	3,5024
Ordonnée à l'origine	1	0,0001	0,0001	0,2458
$1 / T_1$	1	0,0001	0,0001	0,4876
$(T_0 / T_1) \ln STT_0$	1	0,0001	0,0001	0,0001
$1 - T_0 / T_1$	1	0,0001	0,0001	0,0003

DL : degrés de liberté

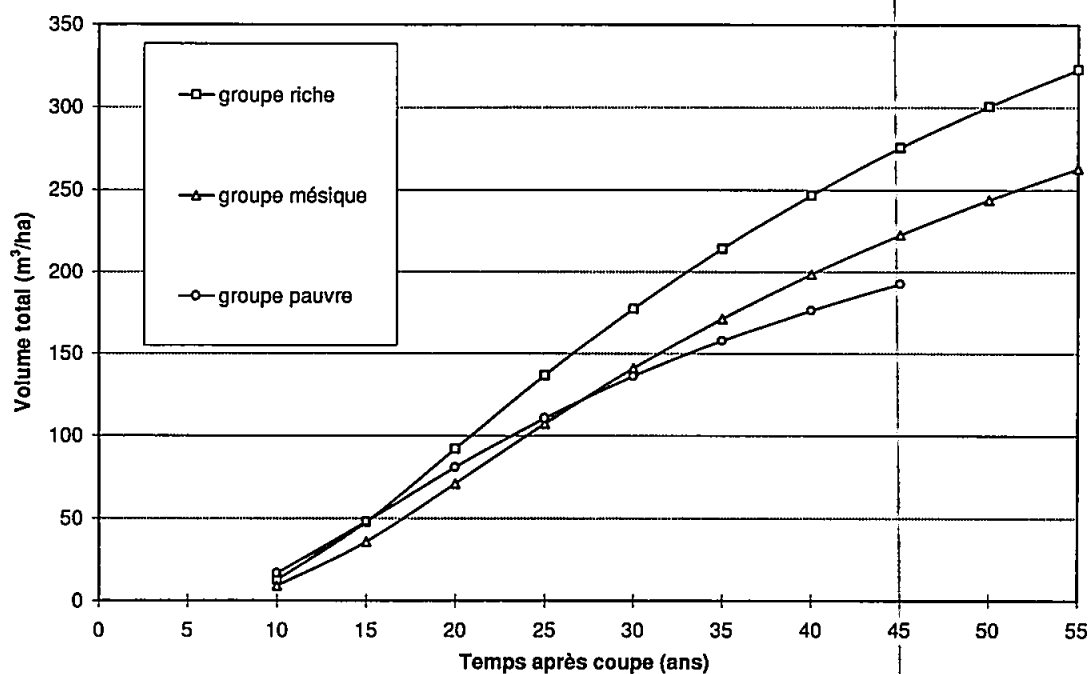


Figure 33. Évolution du volume total toutes essences en fonction du temps écoulé et du groupe écoforestier pour une surface terrière totale de 8,5 m²/ha 10 ans après la coupe.

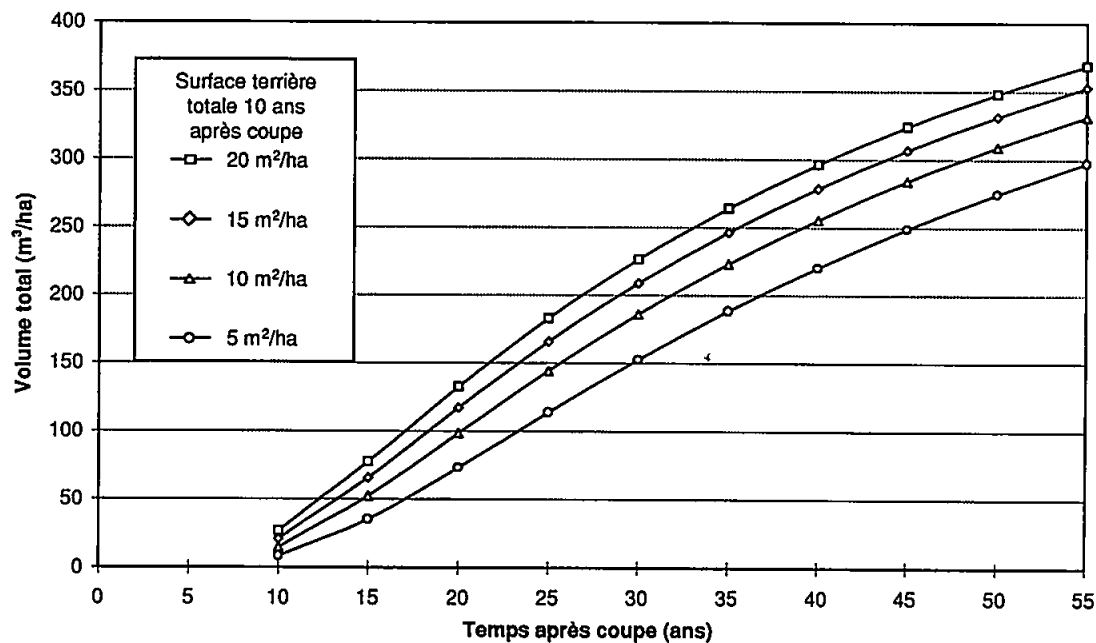


Figure 34. Évolution du volume total toutes essences du groupe des sapinières riches en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe.

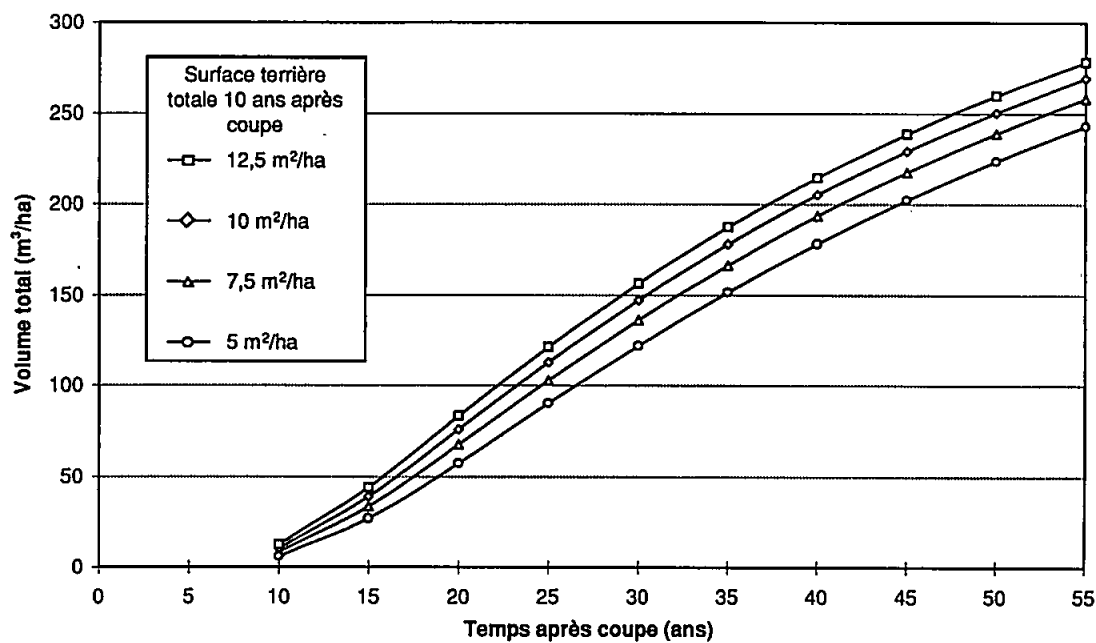


Figure 35. Évolution du volume total toutes essences du groupe des sapinières moyennes en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe.

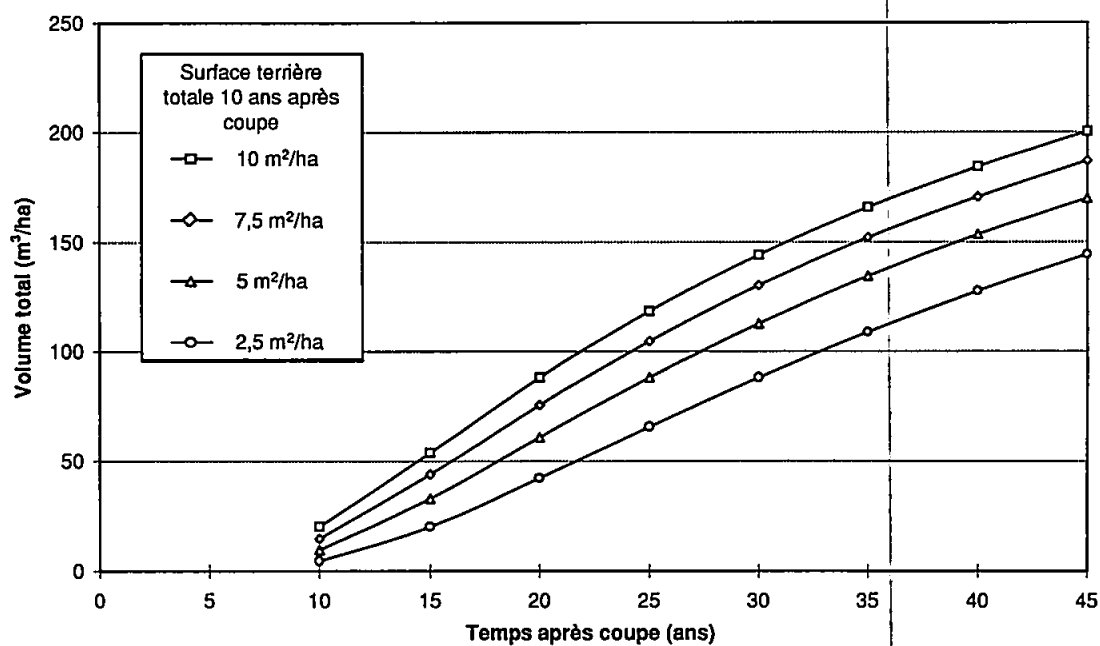


Figure 36. Évolution du volume total toutes essences du groupe des sapinières pauvres en fonction du temps écoulé et de la surface terrière totale 10 ans après la coupe.

Chapitre quatre

Discussion

4.1. Les modèles

À la lumière des caractéristiques statistiques obtenues par la calibration des équations, les modèles utilisés se révèlent être de bons modèles pour prédire l'évolution des caractéristiques dendrométriques à l'échelle du peuplement. À l'intérieur de ces mêmes modèles, le temps écoulé depuis la coupe semble être une mesure adéquate pour décrire l'évolution des grandeurs dendrométriques de sapinières boréales de seconde venue. Ce résultat concorde avec celui de Bertrand *et al.* (1992) et appuie aussi les propos de Morris (1948) selon lesquels le développement physiologique du sapin semble être plus lié au temps écoulé depuis le dégagement qu'à l'âge total de l'arbre. La surface terrière totale initiale est la variable employée pour caractériser à la fois le niveau d'occupation de la station et l'intensité de la compétition car, selon Vézina (1964), elle procure une combinaison entre le nombre de tiges (densité) et leur diamètre. C'est peut-être pourquoi elle explique, tout comme dans les travaux de Bertrand *et al.* (1992), une bonne partie de la variabilité initiale observée dans les sapinières inventoriées. Finalement, l'indice de qualité de station, qui est considéré par plusieurs auteurs comme l'un des principaux critères pouvant exprimer la fertilité des stations (Assmann 1970, Bégin 1992, Davis et Johnson 1987, Rondeux 1993, Spurr et Barnes 1980), amène dans le cadre de cette étude une caractérisation adéquate de la capacité productive de la station.

4.2. Pertes de croissance en volume et mortalité

Dans le dispositif étudié, les pertes de volume et la mortalité occasionnées par les attaques de la TBE semblent être très faibles. Les trois points soutenant cette assertion sont le faible pourcentage de mortalité observé, les faibles pertes de croissance observées chez les arbres dominants et le fait qu'aucun élément

ne permet d'attribuer la mortalité aux épidémies de TBE plutôt qu'à la compétition. Les conditions écologiques favorables retrouvées dans le dispositif (Archambault *et al.* 1990, Dupont *et al.* 1991) et la protection continue dont il a été l'objet ne sont certainement pas étrangères à cet état de choses. L'importance de ce dernier aspect a d'ailleurs été mise en lumière par plusieurs auteurs. En effet, pour une épidémie d'une durée de l'ordre de 5 à 10 ans, la mortalité imputable à la TBE dans les peuplements protégés oscille, en fonction de l'âge, de la composition et de l'intensité de l'épidémie, entre 0 % et 50 % alors qu'elle varie généralement entre 30 % et 100 % dans les peuplements non traités (Batzer 1973, MacLean 1980, MacLean et Erdle 1984, MacLean, Piene 1995, Sewall Co. 1983 dans MacLean 1990, Thibault *et al.* 1995). Malgré la protection continue de l'aire d'étude, les trois équations obtenues intègrent un certain effet de la TBE, car des réductions de croissance ont été remarquées lors de l'analyse des tiges récoltées. L'étude réalisée non loin de notre dispositif par Zarnovican (1982) confirme cette dernière observation avec des pertes totales en volume en 1978, au niveau de la tige, de l'ordre de 5 % et 7 % pour des sapins ayant respectivement 25 et 15 cm au dhp.

4.3. Modèles avec l'IQS

4.3.1. Équations et courbes avec l'IQS

En observant les courbes et les valeurs calculées, on peut constater en premier lieu que les peuplements croissant avec un IQS supérieur produisent plus de matière ligneuse. Cette répercussion de l'IQS est semblable à celle observée avec les classes de qualité de station présentes dans les travaux de Bolghari et Vézina (1974), de Boudoux (1978) et de Vézina et Linteau (1968). Une même tendance a aussi été observée pour la densité initiale, car plus la surface

terrière totale 10 ans après coupe la est élevée, plus la surface terrière totale et les volumes marchand et total auxquels on peut s'attendre ultérieurement seront élevés. Cet effet de la surface terrière totale initiale sur la production est semblable à celui que Baskerville (1965), Bertrand *et al.* (1992), Bolghari et Vézina (1974), Boudoux (1978) de même que Vézina et Doucet (1969) ont noté.

4.3.1.1. Surface terrière totale

L'équation de la surface terrière totale semble assez bien ajustée à en juger par ses caractéristiques statistiques et son erreur de prédiction. Les courbes produites par cette équation en fonction de l'IQS (figure 3) ou de la surface terrière totale initiale (figure 4) ont toutes une forme semblable. De plus, l'effet de l'interaction entre le temps écoulé et chacune de ces variables amène l'éloignement graduel des courbes à mesure que le moment de la prédiction s'éloigne du temps écoulé depuis la coupe. Fait à remarquer, les courbes où l'IQS est inférieur passent au-dessus de celles avec un IQS plus élevé (figure 3). L'hypothèse retenue pour expliquer ce fait est qu'il y avait dans les stations moins riches plus de tiges au moment de la régénération, d'où une meilleure utilisation de l'espace et, par le fait même, des ressources de la station. Les résultats de Côté et Bélanger (1991), selon lesquels les sapinières ayant une strate herbacée importante ont moins de régénération résineuse et le coefficient de distribution moyen de cette régénération dans les sapinières riches est moins élevé, soutiennent aussi cette hypothèse.

4.3.1.2. Volume marchand

L'équation permettant de prédire l'évolution du volume marchand est bien ajustée puisqu'elle explique plus de 84 % de la variation et que l'erreur de prédiction est de 2,8 %. Les courbes produites par cette équation en fonction de l'IQS (figure 5) ou de la surface terrière totale initiale (figure 6) ont, tout comme pour la grandeur dendrométrique précédente, des formes semblables. Dans les deux cas, l'interaction est aussi bien visible et cette fois les stations plus riches supportent un volume marchand supérieur. La principale cause pouvant expliquer cette tendance différente par rapport à la surface terrière totale est que les stations plus fertiles supportent, à surface terrière totale similaire, un nombre inférieur de tiges à l'hectare ayant un diamètre moyen supérieur, comme on l'a observé dans les travaux réalisés dans le Maine par Williams *et al.* (1991). Comme la hauteur des arbres est intégrée dans le calcul des volumes sous forme d'une relation directe entre le diamètre et la hauteur et que, dans ce même calcul, le volume est proportionnel au carré du diamètre, une augmentation de la fertilité entraîne inévitablement un plus grand volume.

4.3.1.3. Volume total

Pour le volume total, les caractéristiques statistiques de l'équation obtenue indiquent un meilleur ajustement que pour l'équation du volume marchand. Ce constat semble imputable à l'utilisation de la surface terrière totale comme variable prédictive dans l'équation du volume marchand. En effet, si l'on substitue la surface terrière marchande à la surface terrière totale, on obtient, pour le volume marchand, une équation ayant des caractéristiques similaires à celles de l'équation du volume total. Il n'en demeure pas moins que la surface terrière totale est la variable employée, étant donné qu'elle est fréquemment mesurée sur le terrain (Boudoux 1978, Bertrand *et al.* 1992). De plus, elle permet de caractériser les jeunes peuplements issus de coupe et qui ne comptent que peu ou pas de tiges marchandes.

4.3.2. Validation des tables de production existantes

4.3.2.1. Surface terrière totale

Par rapport aux tables empiriques de Boudoux (1978) et aux tables normales de Vézina et Linteau (1968), les courbes de la surface terrière totale obtenues présentent une croissance supérieure (figures 10 et 11). À l'opposé, les courbes de la surface terrière totale établies par Bolghari et Vézina (1974) et par Bertrand *et al.* (1992) ont une tendance similaire à celles tracées à partir de l'équation 14 (figures 12 et 13). Les caractéristiques statistiques et l'erreur de prédiction de Bertrand (1990) sont aussi semblables à celles de l'équation 13.

Les différences observées entre nos courbes et celles de Boudoux (1978) et Vézina et Linteau (1968) peuvent être attribuées aux types de données et de modèles employés. En effet, les relations pour la surface terrière totale de ces deux auteurs ont été établies à partir d'informations recueillies dans des peuplements n'ayant été inventoriés qu'une seule fois dans le temps et sont, par le fait même, plus sensibles à la distribution des observations. En d'autres termes, les modèles miment la structure des données plutôt que l'orientation des vecteurs des données comme c'est le cas dans les études de Bolghari et Vézina (1974), de Bertrand *et al.* (1992) et dans la présente recherche.

4.3.2.2. Volumes marchand et total

Les courbes de Boudoux (1978) (figure 14) et Bertrand *et al.* (1992) (figures 15 et 18) tendent à plafonner plus rapidement que celles tracées à partir des équations des volumes marchand et total. Par contre, les tables de Vézina et Linteau (1968) et de Bolghari et Vézina (1974) sont très voisines des tables

calculées ici. L'explication fournie dans le cas de la surface terrière totale ne semble donc plus s'appliquer pour les volumes. Ce résultat pourrait être attribué au fait qu'avec des données ponctuelles, la relation temporelle est plus évidente avec les volumes qu'avec la surface terrière totale et ce, particulièrement à un âge avancé.

Le plafonnement plus rapide des tables de Boudoux (1978) pourrait être imputé à l'utilisation, lors de la calibration du modèle, de peuplements ayant subi des épidémies de TBE légères à modérées et n'ayant pas été protégés de façon systématique. Quant à Bertrand *et al.* (1992), la différence entre leurs courbes serait principalement due à l'utilisation de la relation hauteur-diamètre de 1954 lors du calcul des volumes individuels en 1978. Comme l'illustre la figure 2, cela occasionne une sous-estimation du volume total de chaque tige d'autant plus grande que le DHP est grand. Le choix de relations hauteur-diamètre ressort donc, tout comme dans les travaux de Bégin et Raulier (1995), comme un élément de première importance lors de la détermination des volumes.

Toujours en ce qui a trait au volume marchand, il faut aussi noter la qualité d'ajustement supérieure de l'équation obtenue par rapport à celle de Bertrand *et al.* (1992). Il semble que cet état de chose soit lié à l'utilisation de l'IQS comme variable explicative puisque l'équation calibrée sans IQS dans la présente étude (annexe 16) a des caractéristiques similaires à celles obtenues par Bertrand *et al.* (1992).

L'âge de révolution obtenu est supérieur à 45 ans dans tous les scénarios étudiés (figure 7, annexes 4 à 15) et l'augmentation de la surface terrière totale initiale entraîne une diminution de cet âge. Bien qu'il faille faire attention aux âges obtenus par extrapolation à la figure 7, il n'en demeure pas moins qu'ils sont tous beaucoup plus grands que ceux établis par Boudoux (1978) et par Bertrand *et al.* (1992) pour des conditions similaires. Pour leur part, les âges de révolution déterminés par Bolghari et Vézina (1974) et Vézina et Linteau (1968) sont semblables à ceux obtenus dans le cadre de notre étude.

4.4 Modèles pour les groupes écoforestiers

Les modèles pour les groupes écoforestiers sont des variantes des modèles de Sullivan et Clutter (1972), car l'intégration de la qualité de la station se fait en calibrant des équations spécifiques à chaque groupe.

4.4.1. Phases écologiques et groupes écoforestiers

Malgré des différences plus ou moins grandes entre les valeurs moyennes d'IQS pour chaque phase écologique et les types écologiques correspondants, différences observées par Bélanger *et al.* (1995) qui utilisent l'âge à la souche comme âge de référence, les classes de qualité de station obtenues ressemblent aux classes I+, I- et II définies dans cette dernière étude. Cependant, lorsqu'on les compare aux classes de Linteau (1955), les groupes riches et moyens font tous deux partie de la classe de qualité de station I alors que le groupe pauvre correspond à la classe II. Par rapport aux classes de qualité de station de Vézina et Linteau (1968), il semble qu'une troisième classe devrait être définie. Ce besoin a d'ailleurs été soulevé par Bélanger *et al.* (1995).

Des trois groupes écoforestiers, celui des sapinières riches se démarque des autres par sa grande productivité. Les stations qui en font partie présentent toutes un drainage oblique. Ce résultat est identique à celui de Bélanger *et al.* (1995). La présence de drainage oblique est donc déterminante pour la production de matière ligneuse dans la sapinière boréale humide. Le groupe moyen met en relief l'importance du drainage oblique étant donné qu'il contient des phases écologiques le même dépôt et le même drainage que ceux qu'on retrouve dans le groupe riche mais cette fois-ci sans drainage oblique. Finalement, le groupe des sapinières pauvres est composé des stations où le développement racinaire est limité soit par la faible profondeur du dépôt ou encore par le niveau élevé de la nappe phréatique.

La proportion de la variation de l'IQS expliquée par les trois groupes écoforestiers est de 58 %. Comparativement au taux d'explication de l'IQS par les onze phases écologiques, il n'y a pas de diminution marquée (62 %). Il subsiste donc une certaine variation non expliquée à l'intérieur de chaque groupe écoforestier. La première cause d'une proportion plus ou moins importante de la variation résiduelle est l'effet des épidémies de TBE car, malgré les faibles taux de mortalité observés, la TBE a pu avoir un certain impact sur la croissance en hauteur. En effet, suivant Batzer (1973) et MacLean (1985), il semble que la TBE affecte de façon plus ou moins importante la croissance en hauteur des arbres. Pour sa part, Zarnovican (1980) a démontré que le temps de passage en hauteur des arbres est presque le double lors d'une période épidémique dans des peuplements protégés. Étant donné l'influence déterminante du drainage (Bélanger *et al.* 1995, Burton *et al.* 1982, Gerardin 1989, Klinka et Carter 1990, Page 1976, Williams *et al.* 1991) et de l'épaisseur du dépôt (Bélanger *et al.*

1995) sur la croissance en hauteur des arbres, une autre partie non expliquée de la variation peut aussi être attribuée à l'hétérogénéité des sols à l'intérieur de chaque station. Ce dernier élément a été observé dans les travaux de Bélanger *et al.* (1995) et de Paquette (1994).

4.4.2. Équations et courbes des groupes écoforestiers

Les équations des groupes écoforestiers permettent de calculer le rendement et la croissance de sapinières boréales de seconde venue à partir des grandeurs dendrométriques disponibles auprès du ministère des Ressources naturelles du Canada (tables de peuplement ou de surface terrière totale) et des phases écologiques cartographiées. Quant aux tendances engendrées par une fertilité (groupe écoforestier) supérieure ou une surface terrière totale initiale plus élevée, elles sont similaires à celles observées à partir des courbes et valeurs calculées avec l'IQS.

4.4.2.1. Surface terrière totale

Les équations de la surface terrière totale pour les groupes riche, moyen et pauvre sont relativement bien ajustées à en juger par leurs caractéristiques statistiques et leurs erreurs de prédiction. Par rapport à l'équation de la surface terrière avec l'IQS (équation 13), seule celle du groupe moyen apparaît moins bien ajustée. Cependant, en termes d'erreur de prédiction, elles sont toutes semblables. Les courbes des groupes (figure 21) s'apparentent à celles tracées avec l'équation contenant l'IQS (figure 3), car la surface terrière totale du groupe pauvre est toujours supérieure à celle des deux autres groupes. La position des courbes semble encore être due à la meilleure utilisation du potentiel des stations pauvres, lequel est attribuable à un nombre plus élevé de tiges à l'hectare au moment de la régénération. Les groupes riche et moyen sont par ailleurs statistiquement semblables suivant l'équation 11.

L'ajout de l'interaction entre le temps écoulé depuis la coupe et l'IQS est non significatif pour tous les groupes. De plus, comme la qualité de l'ajustement demeure sensiblement semblable (annexe 29), les groupes écoforestiers semblent être des divisions valables pour modéliser l'évolution de la surface terrière totale en l'absence de l'IQS.

4.4.2.2. Volume marchand

L'équation du volume marchand la mieux ajustée est celle du groupe des sapinières riches (équation 20). Elle est suivie par l'équation du groupe pauvre et celle du groupe moyen est la dernière. Par rapport à l'équation 14, seul le groupe moyen semble moins bien ajusté. D'ailleurs, on remarque que pour ce groupe, le test de sous-ensemble de paramètres indique une contribution significative de l'IQS, ce qui se traduit par une augmentation sensible de la qualité de l'ajustement (annexe 30). Il semble donc y avoir une variation résiduelle du volume marchand à l'intérieur de ce groupe, laquelle est discriminée par l'IQS. Cela ne semble pas être le cas des groupes riche et pauvre puisque l'ajout de l'IQS n'influence pas vraiment la qualité de l'ajustement (annexe 30).

L'âge d'exploitabilité absolu de peuplements faisant partie de chacun des groupes réagit de la même manière que l'âge de révolution de l'équation avec l'IQS, c'est-à-dire qu'il diminue avec l'augmentation de la surface terrière totale initiale. Toutefois, à surface terrière totale initiale semblable et classe de fertilité similaire en termes d'IQS moyen, l'âge de révolution obtenu est toujours supérieur à celui déterminé par Boudoux (1978). D'autre part, les âges d'exploitabilité absolus établis par extrapolation pour chaque groupe en fonction de la surface terrière totale initiale, tout comme ceux obtenus à partir de l'équation avec l'IQS, ressemblent aux valeurs déterminées par Vézina et Linteau (1968).

4.4.2.3. Volume total

Les équations du volume total des groupes riche et moyen sont somme toute bien ajustées et ont des caractéristiques statistiques similaires à l'équation du volume total avec l'IQS. L'équation du groupe des sapinières pauvres présente quant à elle un ajustement un peu moins bon. Dans ce cas-ci, cela ne peut être attribué à l'IQS puisque le test de sous-ensembles de paramètres est non significatif (annexe 31). Pour les groupes riche et moyen, l'ajout de l'IQS n'améliore pas les caractéristiques des équations et ce, malgré des tests de sous-ensembles de paramètres concluants (annexe 31).

Chapitre cinq

Conséquences pour l'aménagement

À la lumière des résultats obtenus et si l'objectif poursuivi est la production de matière ligneuse, il serait avantageux de conserver le plus de gaulis possible lors de la coupe afin d'avoir une surface terrière totale initiale maximale. Il faut préciser que cela est vrai à l'intérieur des limites observées et que la plupart des peuplements inventoriés se situent autour ou en dessous du seuil de densité critique de 21 000 tiges/ha à 21 ans identifié par Piene (1981). Il en est de même pour les 16 000 à 17 000 tiges/ha ou quelque 30 m²/ha nécessaires pour avoir un plein boisement dans une sapinière au stade du gaulis dont le diamètre moyen est de 5 cm (Zarnovican et Vézina 1985). Tout comme dans les travaux de Bertrand *et al.* (1992) et de Simard (1995), cela a pour effet de soulever de sérieuses interrogations sur la densité optimale à conserver lors de travaux d'éclaircie et ce, plus particulièrement lorsque le but visé est de produire le maximum de volume. Dans le cas où les dimensions et la qualité du bois entrent en ligne de compte, il faut toutefois faire attention car ces aspects n'ont pas été considérés dans la présente étude.

Le fait de conserver les gaulis pour avoir une surface terrière totale initiale maximale a aussi des répercussions sur l'âge de révolution. En effet, l'augmentation de la surface terrière totale initiale produit une diminution appréciable de l'âge de révolution. Conséquemment, si l'on vise à produire de la matière ligneuse et à diminuer l'âge de révolution, les gaulis peuvent jouer un rôle déterminant.

Les résultats de la présente étude et ceux de Vézina et Linteau (1968) ont été obtenus à partir de données où la TBE a eu peu d'impact. Ils forment donc ainsi un groupe de tables où les valeurs calculées correspondent à la production maximale des peuplements.

Les tables de Boudoux (1978), construites avec des peuplements ayant subi l'effet d'une épidémie de TBE d'intensité légère à modérée et n'ayant pas été protégés de façon systématique, forment un second groupe. Les patrons de croissance de ces groupes entraînent l'apparition de deux niveaux d'âges de révolution différents pour des conditions initiales similaires. Ainsi, avec une surface terrière totale de 8,5 m²/ha ou 35 m²/ha à 30 ans 10 ans après la coupe, les âges de révolution du premier groupe se situent entre 60 et 70 ans pour les classes de qualité de station I et II alors qu'ils oscillent entre 35 et 45 ans d'après Boudoux (1978). L'âge de révolution et les autres différences observées entre les deux groupes mettent en évidence l'inadéquation que peut entraîner l'utilisation exclusive des tables de Boudoux (1978) sans égard à l'histoire et à la situation épidémique des peuplements ainsi qu'à la protection dont ils ont été l'objet. De plus, à la lumière des résultats obtenus, on peut affirmer que les âges de révolution de Boudoux (1978) amènent une sous-utilisation de la capacité productive des stations en période endémique et d'épidémie légère de TBE avec protection systématique. À preuve, pour les conditions exprimées précédemment, l'accroissement annuel moyen d'un peuplement de 50 ans est, selon Boudoux (1978), de 3,59 m³/ha.an sur une station de classe I et de 2,97 m³/ha.an sur une station de classe II alors que les valeurs obtenues dans le dispositif étudié sont respectivement de 4,51 et 3,21 m³/ha.an pour ces mêmes classes de qualité de station. Bien que les résultats de cette étude ne peuvent être transposés à l'échelle du Québec, le constat de la sous-utilisation de la capacité productive des stations demeure entier car les accroissements annuels moyens de Vézina et Linteau (1968) sont semblables à ceux que nous avons calculés.

L'utilisation d'un âge de révolution de l'ordre de ceux déterminés par Boudoux (1978) a pour avantage de diminuer la vulnérabilité et, par le fait même, de minimiser les pertes en période d'épidémie de TBE. Néanmoins, compte tenu de la tendance à l'enfeuillement des sapinières boréales constatée par plusieurs auteurs (Bélanger *et al.* 1989, Déry 1995, Harvey et Bergeron 1989, Ruel 1992, Ruel, Huot 1992), il

pourrait être avantageux d'utiliser, en période endémique, des âges de révolution plus longs afin de donner plus de temps à la régénération naturelle pour s'installer. L'importance de l'âge de révolution pour l'établissement de la régénération prend toute sa signification lorsque l'on considère que la production régulière de semence débute vers 30 ans chez le sapin baumier (Burns et Honkala 1990, Fowells 1965).

Conclusion

Les équations de Sullivan et Clutter (1972) se sont montrées bien adaptées pour modéliser la croissance des sapinières boréales de seconde venue. Elles permettent de prédire avec précision l'évolution de la surface terrière totale et des volumes marchand et total en utilisant comme variables le temps écoulé depuis la coupe, la surface terrière totale au moment présent et l'indice de qualité de station. Le fait que ces variables soient peu nombreuses et faciles à déterminer est sans contredit le principal avantage de ces modèles.

Les groupes écoforestiers et, par le fait même, les phases écologiques se sont avérés efficaces pour intégrer la capacité productive des stations en l'absence d'indice de qualité de station. De plus, les équations des groupes écoforestiers ont un ajustement et une précision comparables aux équations contenant l'IQS.

Pour ce qui est de la régénération préétablie et des gaulis, les tendances observées avec les IQS et les groupes écoforestiers permettent d'avancer que leur protection pendant de la récolte assure une production accrue tout en diminuant l'âge de révolution.

Finalement, il serait souhaitable de développer des modèles prenant en considération la durée et le niveau de défoliation à la suite des épidémies de TBE afin de prédire avec exactitude la production et l'âge de révolution des peuplements. Ce type de modèle a déjà été développé dans l'État du Maine et au Nouveau-Brunswick (MacLean 1985, Seymour 1985). Il s'agit respectivement des modèles connus sous les noms de *Green Woods Model* et *Wood Supply and Forest Productivity Model (WOSFOP)*, qui permettent de prédire la production de strates en y intégrant un effet de la TBE (Seymour 1985). Le degré de protection devra, lui aussi, être intégré à cet outil, comme l'ont fait MacLean et Erdle (1984) avec le modèle *WOSFOP* et Steinman et MacLean (1994) dans leur modèle.

Bibliographie

- Anonyme, 1948. *Form-class volume tables*. Second edition. Canada, Department of Mines and Resources, Mines, Forests and Scientific Services Branch, Forest Service. 261 p.
- Archambault, L., R.R. Gagnon, G. Pelletier, M. Chabot et L. Bélanger, 1990. *Influence du drainage et de la texture du dépôt sur la vulnérabilité du Sapin baumier et de l'Épinette blanche aux attaques de la Tordeuse des bourgeons de l'épinette*. Can. J. For. Res. 20 : 750-756.
- Assman, E., 1970. *The principles of forest yield study*. Pergamon Press. 506 p.
- Baskerville, G.L., 1965. *Dry-matter production in immature balsam fir stands*. For. Sci. Monogr. 9 : 1-42.
- Batzer, H.O., 1973. *Net effects of spruce budworm defoliation on mortality and growth of balsam fir*. J. For. 71 : 34-37.
- Bégin, J., L. Bélanger, J. Pfalzgraf et M. Pineau, 1990. *Qualité de station et production dans les érablières rouges de la plaine de Drummondville, Québec*. For. Chron. 66 : 377-387.
- Bégin, J., 1992. *Productivité du Douglas vert (Pseudotsuga menziesii [Mirb.] Franco var. menziesii Franco) en relation avec des caractéristiques stationnelles*. Mitteilungen der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft 2 : 173-313.
- Bégin, J., 1993. *Anatige*. Faculté de foresterie et de géomatique, Université Laval, Québec.

- Bégin J. et F. Raulier, 1995. *Comparaison de différentes approches, modèles et tailles d'échantillon pour l'établissement de relations hauteur-diamètre locales*. Can. J. For. Res. 25 : 1303-1312.
- Bélanger, L., P. Bouliane et M. Pineau, 1989. *Problématique de la sapinière boréale de seconde venue*. Colloque sur la sapinière boréale, Forêt Montmorency, 21 sept. Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, Québec.
- Bélanger, L., S. Paquette, S. Morel, J. Bégin, P. Meek, L. Bertrand, P. Beauchesne, S. Lemay et M. Pineau, 1995. *Indices de qualité de station du sapin baumier dans le sous-domaine écologique de la sapinière à bouleau blanc humide*. For. Chron. 71 : 317-325.
- Bélanger, L., S. Paquette, P. Beauchesne et J. Bissonnette, 1996. *La cartographie écoforestière ou le défi d'intégrer cartographiquement le milieu physique et le couvert forestier*. Écoscience 3 : 229-238.
- Belsey, D.A., E. Kuh et R.E. Welsch, 1980. *Regression diagnostics: identifying influential data and sources of collinearity*. Wiley. 292 p.
- Bertrand, L., 1990. *Modélisation de la croissance de la sapinière à bouleau blanc boréale issue de coupe totale*. Mémoire de maîtrise, Faculté de foresterie et de géomatique, Université Laval, Québec. 57 p.
- Bertrand, L., L. Bélanger et R. L. Beauregard, 1992. *Croissance de sapinières à bouleau blanc boréales issues de coupe avec protection de la régénération*. Can. J. For. Res. 22 : 1701-1711.
- Blais, J.R., 1961. *Spruce budworm outbreaks in the Lower St. Lawrence and Gaspé region*. For. Chron. 37 : 192-202.
- Bolghari, H. et P.-É. Vézina, 1974. *Estimation de l'accroissement et de la production des sapinières de diverses densités*. Service de la recherche, Ministère des Terres et Forêts. Mémoire n° 18. 44 p.
- Borders, B.E., R.L. Bailey et K.D. Ware, 1984. *Slash pine site index from a polymorphic model by joining (splining) nonpolynomial segments with an algebraic difference method*. For. Sci. 30 : 411-423.
- Boudoux, M., 1978. *Tables de rendement empiriques pour l'épinette noire, le sapin baumier et le pin gris au Québec*. Min. des Terres et Forêts, Gouv. du Québec. 101 p.
- Buckman, R.E., 1962. *Growth and yield of red pine in Minnesota*. U.S. Dep. Agric., Tech. Bull. 1272. 50 p.
- Burkhart, H.E. et P.T. Sprinz, 1984. *Compatible cubic volume and basal area projection equations for thinned old-field loblolly pine plantations*. For. Sci. 30 : 86-93.
- Burns, R.M. et B.H. Honkala, 1990. *Silvics of North America. Volume 1, Conifers*. U.S. Dep. Agric., Agric. Handb. No. 654.
- Burton V.B., K.S. Pregitzer, T.A. Spies et V.H. Spooner, 1982. *Ecological Forest Site Classification*. J. For. 80 : 493-498.
- Capéraà, P. et B. Van Cutsem, 1988. *Méthodes et modèles en statistique non paramétrique, exposé fondamental*. Presses de l'Université Laval. 358 p.
- Carmean, W.H., 1972. *Site index curves for upland oaks in the Central States*. For. Res. 18 : 102-120.
- Clutter, J.L., 1963. *Compatible growth and yield models for loblolly pine*. For. Sci. 9 : 354-371.
- Conseil de la recherche forestière du Québec, 1992. *Avis du comité spécialisé sur la croissance et le rendement des forêts*. 37 p.
- Côté, S. et L. Bélanger, 1991. *Variations de la régénération préétablie dans des sapinières boréales en fonction de leurs caractéristiques écologiques*. Can. J. For. Res. 21 : 1779-1795.
- Curtis, R.O., 1964. *A stem-analysis approach to site-index curves*. For. Sci. 10 : 241-256.
- Curtis, R.O., 1970. *Stand density measures: an interpretation*. For. Sci. 16 : 403-414.
- Davis, L.S. et K.N. Johnson, 1987. *Forest management. Third Edition*. McGraw-Hill, New-York. 790 p.
- Déry, S., 1995. *La dynamique de l'enfeuilletement après coupe de la sapinière boréale de seconde venue*. Mémoire de maîtrise, Faculté de foresterie et de géomatique, Université Laval, Québec. 93 p.

- Direction de la conservation, 1993. *Cartes des aires traitées contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette pour 1954 à 1962*. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Québec.
- Dupont, A., L. Bélanger et J. Bousquet, 1991. *Relationships between balsam fir vulnerability to spruce budworm and ecological site conditions of fir stands in central Quebec*. Can. J. For. Res. 21 : 1752-1759.
- Dyer, M. et R.L. Bailey, 1987. *A test of six methods for estimating true heights from stem analysis data*. For. Sci. 33 : 3-13.
- Environnement Canada, 1993a. *Normales climatiques au Canada. Températures et précipitations 1961-1990, Québec*. Service de l'environnement atmosphérique, Env. Canada, Ottawa. 157 p.
- Environnement Canada, 1993b. *Normales climatiques au Canada. Vol. 6 - Gel 1961-1990, Québec*. Service de l'environnement atmosphérique, Env. Canada, Ottawa. 270 p.
- Fowells, H.A., 1965. *Silvics of forest trees of the United States*. U.S. Dep. Agric., Agric. Handb. No. 271.
- Gagnon, R., 1985. *Croissance du sapin baumier en relation avec la durée de sa période initiale d'oppression*. Mémoire de maîtrise, Faculté de foresterie et de géomatique, Université Laval, Québec. 54 p.
- Gerardin, V., 1989. *Introduction à l'écologie forestière*. L'Aubelle 73 (Formation continue). 16 p.
- Gerardin, V., D. Bérubé et J.-P. Ducruc, 1984. *Cadre écologique de référence de l'Unité de Gestion des Chics-Chocs (partie occidentale): Carte des toposystèmes et des régions de croissance*. Contribution de la Division des inventaires écologiques n° 12, Service des inventaires écologiques, min. Envir. Q. 28 p. + annexes.
- Goelz, J.C.D. et T.E. Burk, 1992. *Development of a well-behaved site index equation: jack pine in north central Ontario*. Can. J. For. Res. 22 : 776-784.
- Gregoire, T.G., 1987. *Generalized error structure for forestry yield models*. For Sci. 33 : 423-444.
- Grondin, P., J. Laroche, P. Tardif et J.-P. Saucier, 1993. *Utilisation des modèles de croissance dans la définition des stations forestières*. Colloque international : Les modèles de croissance forestière et leurs utilisations, Québec : 204-218.
- Grondin, P., J.-P. Saucier, P. Dorais, G. Gauthier et D. Robert, 1994. *Les guides sylvicoles du ministère des Ressources naturelles du Québec*. Ministère des Ressources naturelles, Gouv. du Québec, rapport interne. 17 p.
- Groupe de travail sur les écorégions, 1989. *Régions écoclimatiques du Canada, première approximation*. Env. Canada, Comité canadien de la classification écol. du territoire, Dir. du dév. durable, Série de la classification écologique du territoire n° 23. 118 p.
- Hardy, Y., M. Mainville et D.M. Schmitt, 1986. *An atlas of spruce budworm defoliation in Eastern North America: 1938-80*. USDA, Forest Service, Coop. State Res. Serv., Misc. Pub. No. 1449. 52 p.
- Harvey, B.D. et Y. Bergeron, 1989. *Site patterns of natural regeneration following clear-cutting in northwestern Quebec*. Can. J. For. Res. 19 : 1458-1469.
- Hatcher, R.J., 1960. *Development of balsam fir following a clearcut in Québec*. Canada, Dep. of North. Aff. and Nat. Res., Forestry Branch, For. Res. Div., Technical Note No. 87. 21 p.
- Hatcher, R.J., 1969. *Rotation of second-growth balsam fir-spruce stands - a compromise decision ?* Pulp and Paper Magazine of Canada, WS Index 2507 ODC 56 : 83-85.
- Jurdant, M., J.-L. Blais et J.-P. Ducruc, 1977. *L'inventaire du Capital-Nature*. Pêches et Environnement Canada, Service des études écologiques régionales, Série de la classification écologique du territoire, n° 2. 202 p.
- Ker, M.F. et C. Bowling, 1991. *Polymorphic site index equations for four New Brunswick soft species*. Can. J. For. Res. 21 : 726-732.
- Klinka, K. et R.E. Carter, 1990. *Relationships between site index and synoptic environmental factors in immature coastal Douglas-Fir stands*. For. Sci. 36(3) : 815-830.

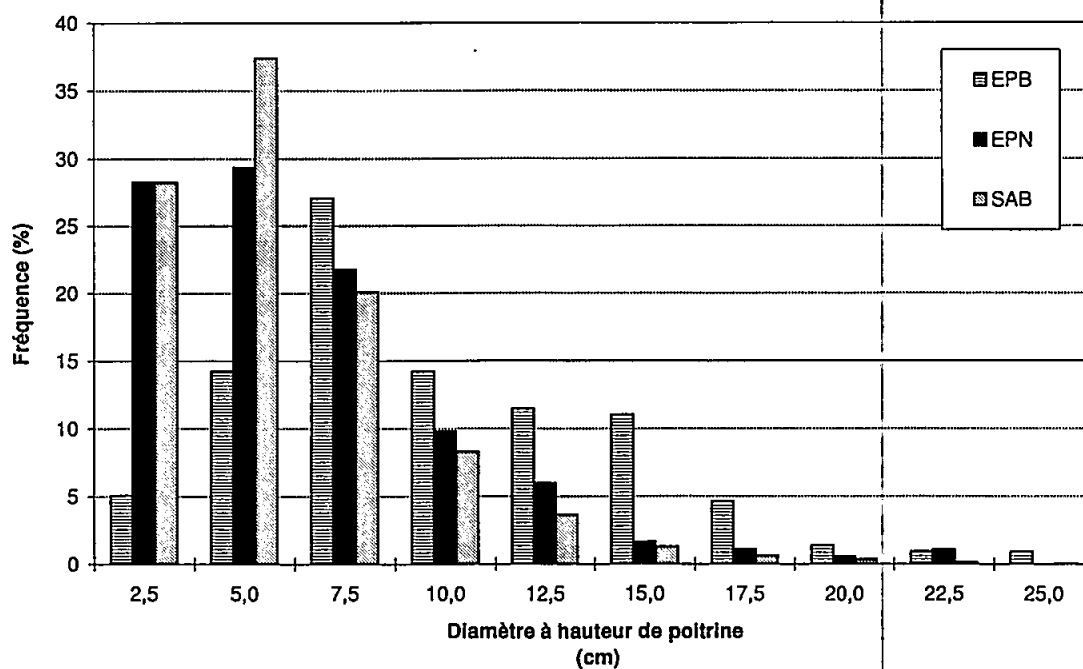
- Lachance, D., C. Monnier, J.-P. Bérubé et R. Paquet, 1990. *Insectes et maladies des forêts dans la région du Bas-Saint-Laurent/Gaspésie de 1936 à 1987*. Serv. Can. For., Région du Québec. Rapport d'information LAU-X-93. 223 p.
- Lessard, G., L. Bélanger, S. Marchand, P. Beauchesne, M. Pineau, P. Bouliane et J.-P. Jetté, 1991. *Guide des stations forestières de la Forêt Montmorency de l'Université Laval*. Université Laval, Département des sciences forestières.
- Linteau, A., 1955. *Forest site classification of the Northeastern coniferous section boreal forest Region Quebec*. Can. Dept. of North. Aff. and Natl. Resour., For. Branch, Bull. No. 118. 85 p.
- Logan, K.T., 1969. *Growth of trees seedlings as affected by light intensity*. Dep. of Fisheries and Forestry, Canadian Forestry Service, Env. Can. Publ. No. 1256. 12 p.
- MacArthur, J.D., 1959. *A report on the establishment of Observation Area No. 15, Matane Freehold Limits of the Hammermill Paper Company*. Valcartier, Forest Experiment Station. 35 p.
- MacLean, D.A., 1980. *Vulnerability of fir-spruce stands during uncontrolled spruce budworm outbreaks: a review and discussion*. For. Chron. 56 : 213-221.
- MacLean, D.A., 1985. *Effects of spruce budworm outbreaks on forest growth and yield*. Dans : Recent advances in spruce budworm research. Proceeding of CANUSA Spruce Budworms Research Symposium, Sept. 16-20, 1984, Bangor, ME. Canadian Forestry Service, Ottawa : 148-175.
- MacLean, D.A., 1990. *Impact of forest pests and fire on stand growth and timber yield: implications for forest management planning*. Can. J. For. Res. 20 : 391-404.
- MacLean, D.A. et T.A. Erdle, 1984. *A method to determine effects of spruce budworm on stand yield and wood supply projections for New Brunswick*. For. Chron. 60 : 167-173.
- MacLean D.A. et H. Piene, 1995. *Spatial and temporal patterns of balsam fir mortality in spaced and unspaced stands caused by spruce budworm defoliation*. Can. J. For. Res. 25 : 902-911.
- Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, 1993. *Réserve faunique de Matane, carte et renseignements*. Québec.
- Montgomery, D.C. et E.A. Peck, 1982. *Introduction to linear regression analysis*. John Wiley & Sons. 504 p.
- Morris, R.F., 1948. *How old is a balsam tree ?* For. Chron. 24 : 106-110.
- Page, G., 1976. *Quantitative evaluation of site potential for spruce and fir in Newfoundland*. For. Sci. 22 : 131-143.
- Paquette, S., 1994. *Hétérogénéité de cartes écologiques à grande échelle et conséquences pour l'aménagement intégré des ressources forestières*. Mémoire de maîtrise, Faculté de foresterie et de géomatique, Université Laval, Québec. 86 p.
- Parent, B., 1994. *Ressource et industrie forestière, portrait statistique, édition 1994*. Ministère des Ressources naturelles, Gouvernement du Québec. 115 p.
- Perron, J.-Y., 1985. *Tarif de cubage général, volume marchand brut*. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Gouvernement du Québec. 55 p.
- Pfalzgraf, J., 1970. *Régénération et croissance après coupe de forêts de divers types*. Canadian Pulp and Paper Ass., Woodlands Section, WS Index 2585 (F1) DC 231. 12 p.
- Piene, H., 1981. *Early growth responses to operational spacing in young balsam fir stands on the Cape Breton Highlands, Nova Scotia*. Maritimes For. Res. Cent., New Brunswick, Canadian Forestry Service, Env. Canada, Inf. Rep. M-X-125. 29 p.
- Reed, D.D., E.A. Jones, T.R. Bottenfield et C.C. Trettin, 1986. *Compatible cubic volume and basal area equations for red pine plantations*. Can. J. For. Res. 16 : 416-419.
- Robitaille, A. et M. Allard, 1996. *Guide pratique d'identification des dépôts de surface au Québec*. Gouvernement du Québec. 109 p.
- Rondeux, J., 1993. *La mesure des arbres et des peuplements forestiers*. Presses agronomiques de Gembloux. 521 p.

- Rowe, J.S., 1972. *Forest regions of Canada*. Environ. Can., Can. For. Serv., Ottawa, Pub. No. 1300. 172 p.
- Ruel, J.-C., 1992. *Impact de la compétition exercée par le framboisier (Rubus idaeus L.) et les feuillus de lumière sur la croissance du sapin (Abies balsamea [L.] Mill.) en régénération*. Can J. For. Res. 22 : 1408-1416.
- Ruel, J.-C. et M. Huot, 1992. *Impact de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (Choristoneura fumiferana [Clem.]) sur la régénération des sapinières après coupe à blanc*. For. Chron. 68 : 163-172.
- SAS institute Inc., 1988. *SAS/STAT User's guide, version 6.03*. 1028 p.
- Saucier, J.-P., 1993. *Proposition d'unités homogènes en vue d'établir des tables de rendement: les stations forestières*. Colloque international : Les modèles de croissance forestière et leurs utilisations, Québec : 69-82.
- Schumacher, F.X., 1939. *A new growth curve and its application to timber-yield studies*. Forest Sci. 18 : 76-86.
- Service de protection contre les insectes et maladies, 1973 à 1992. *Cartes d'infestation de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (Choristoneura fumiferana [Clem.])*. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Québec.
- Seymour, R.S., 1985. *Forecasting growth and yield of budworm infested forests*. Dans : Recent advances in spruce budworm research. Proceedings of CANUSA Spruce Budworm Research Symposium, Sept. 16-20, 1984, Bangor, ME. Canadian Forestry Service, Ottawa : 200-213.
- Simard, D., 1995. *Résultats d'une coupe d'éclaircie précommerciale tardive 19 ans après traitement*. Mémoire de maîtrise, Faculté de foresterie et de géomatique, Université Laval, Québec. 70 p.
- Spurr, S.H. et B.V. Barnes, 1980. *Forest ecology. Third Edition*. John Wiley & Sons : 687.
- Steinman, J.R. et D.A. MacLean, 1994. *Predicting effects of defoliation on spruce-fir stand development: a management-oriented growth and yield model*. For. Ecol. Manage. 69 : 283-298.
- Sullivan, A.D. et J.L. Clutter, 1972. *A simultaneous growth and yield model for loblolly pine*. For. Sci. 18 : 76-86.
- Sullivan, A.D. et M.R. Reynolds, 1976. *Regression problems for repeated measurements*. For.Sci. 22 : 382-385.
- Thibault, D., J. Bégin et L. Bélanger, 1995. *Relations entre des indicateurs de croissance du sapin baumier en début d'épidémie et sa vulnérabilité à la tordeuse des bourgeons de l'épinette*. Can. J. For. Res. 25 : 1292-1302.
- Thibault, M., 1985. *Les régions écologiques du Québec méridional (seconde approximation)*. Carte à l'échelle du 1:1 250 000. Min. des Forêts, Québec, 90 x 140 cm.
- Vanclay, J.K., 1994. *Modelling forest growth and yield, applications to mixed tropical forests*. CAB International. 312 p.
- Van Nostrand, R.S., 1964. *Growth trends in spruce and fir stands in Central Newfoundland*. For. Res. Branch, Dept of Forestry, Publ. No. 1063. 31 p.
- Vézina, P.-É., 1964. *An analysis of measures of density in even-aged balsam fir and jack pine stands*. For. Chron. December : 474-481.
- Vézina, P.-É. et R.A. Doucet, 1969. *L'effet d'une éclaircie sur la croissance quinquennale d'un peuplement de sapin baumier âgé de 15 ans*. Nat. Can. 96 : 225-242.
- Vézina, P.-É. et A. Linteau, 1968. *Growth and yield of balsam fir and black spruce in Quebec*. For. Res. Lab., Quebec Region, Inf. Rep. Q-X-2, Canada Dept. of Forestry and Rural Dev. 58 p.
- Vicary, B.P., B.B. Thomas et R.H. Griffin, 1984. *Base-age invariant polymorphic site index curves for even-aged spruce-fir stands in Maine*. Maine Agricultural Experiment Station, University of Maine at Orono, Experiment Station Bulletin 802. 33 p.
- West, P.W., D.A. Ratkowsky et A.W. Davis, 1984. *Problems of hypothesis of regressions with multiple measurements from individual sampling units*. For. Ecol. Manage. 7 : 207-224.
- Williams, R.A., B.F. Hoffman et R.S. Seymour, 1991. *Comparison of site index biomass production of spruce-fir stands by soil drainage class in Maine*. For. Ecol. Manage. 41 : 279-290.

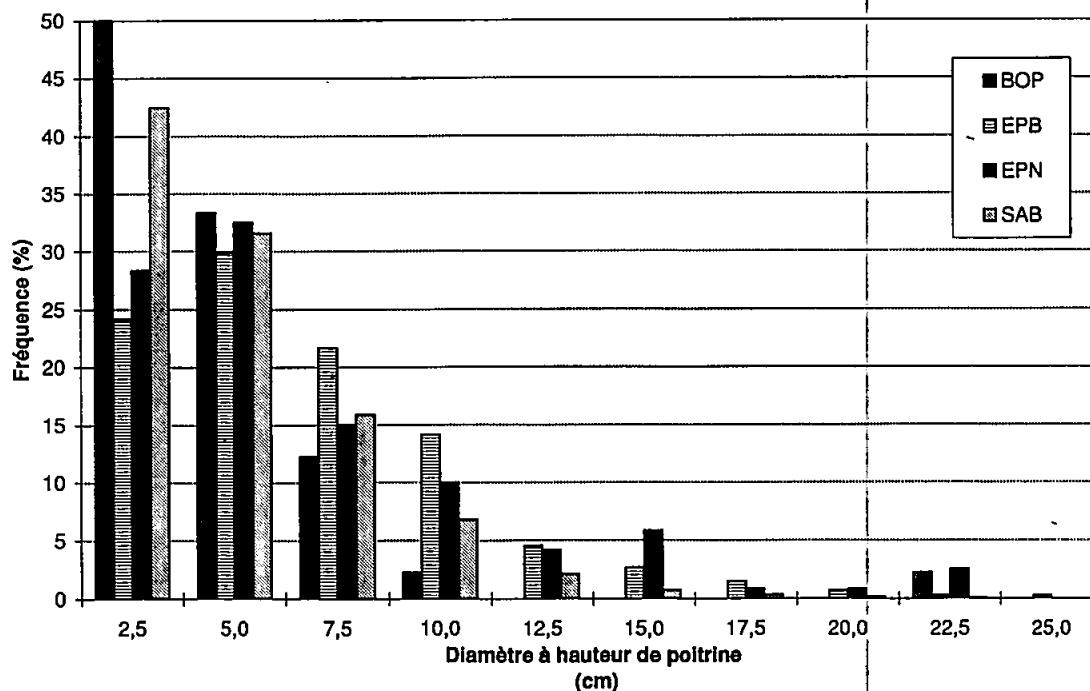
- Zarnovican, R., 1980. *Indice de fertilité et épidémie d'insectes*. Serv. Can. For., Cent. Rech. For. Laurentides : 231-236.
- Zarnovican, R., 1981. *À propos de l'âge du sapin baumier et de sa détermination*. Can. J. For. Res. 11 : 805-811.
- Zarnovican, R., 1982. *Pertes en volume et caractéristiques dendrométriques du sapin baumier après défoliation par la tordeuse des bourgeons de l'épinette*. Nat. Can. 109 : 129-133.
- Zarnovican, R., 1987. *Analyse de quelques éléments de production forestière de l'Unité de gestion des Chics-Chocs (partie occidentale)*. Serv. Can. For. Cent. Rech. For. Laurentides, Rapport d'information LAU-X-74. 32 p.
- Zarnovican, R. et P.-É. Vézina, 1985. *Étude de la production totale: exemple d'une table pour le sapin baumier*. Can. J. For. Res. 15 : 87-91.
- Zeide, B., 1993. *Analysis of growth equations*. For. Sci. 39 : 594-616.

Annexes

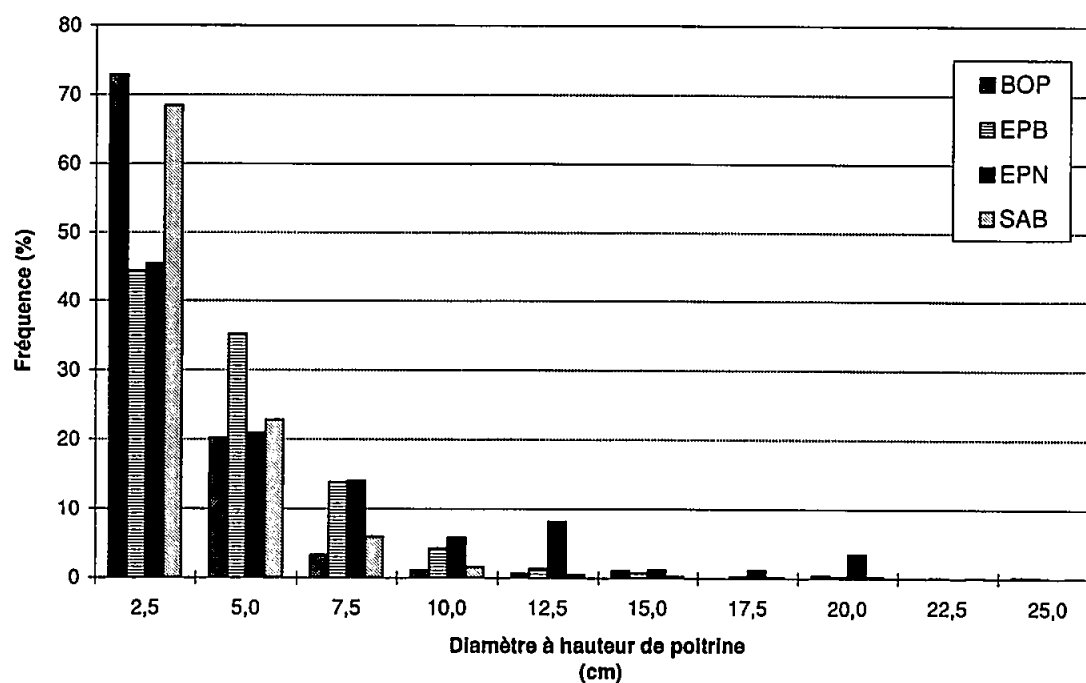
Annexe 1. Répartition par classe de diamètre et par essence des arbres renversés lors de l'inventaire réalisé en 1991



Annexe 2. Répartition par classe de diamètre et par essence des arbres morts lors de l'inventaire réalisé en 1978



Annexe 3. Répartition par classe de diamètre et par essence des arbres morts lors de l'inventaire en 1978



Annexe 4. Production et accroissement d'une sapinière boréale de seconde venue de classe de fertilité I (16 m) ayant une surface terrière totale initiale de 5 m²/ha 10 ans après la coupe

Temps (années)	DHP moyen (cm)	Surface terrière totale (m ² /ha)	Volume marchand (m ³ /ha)	Accroissement annuel en volume marchand		Volume total (m ³ /ha)
				Périodique (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	Moyen (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	
10	1,48	5,00	0,83		0,08	6,86
15	3,74	11,89	8,04	1,44	0,54	30,61
20	5,95	18,33	24,94	3,38	1,25	64,64
25	7,86	23,77	49,21	4,85	1,97	101,22
30	9,46	28,27	77,41	5,64	2,58	136,49
35	10,80	31,99	106,98	5,91	3,06	168,99
40	11,93	35,10	136,36	5,88	3,41	198,35
45	12,88	37,73	164,69	5,67	3,66	224,67
50	13,71	39,97	191,53	5,37	3,83	248,21
55	14,42	41,90	216,72	5,04	3,94	269,30

Annexe 5. Production et accroissement d'une sapinière boréale de seconde venue de classe de fertilité I (16 m) ayant une surface terrière totale initiale de 10 m²/ha 10 ans après la coupe

Temps (années)	DHP moyen (cm)	Surface terrière totale (m ² /ha)	Volume marchand (m ³ /ha)	Accroissement annuel en volume marchand		Volume total (m ³ /ha)
				Périodique (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	Moyen (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	
10	1,89	10,00	2,42		0,24	13,13
15	4,40	18,87	16,35	2,79	1,09	47,17
20	6,72	25,92	42,49	5,23	2,12	89,40
25	8,66	31,37	75,35	6,57	3,01	131,21
30	10,26	35,61	110,40	7,01	3,68	169,44
35	11,58	40,00	145,04	6,93	4,14	203,41
40	12,67	41,74	177,97	6,57	4,45	233,28
45	13,60	44,01	208,67	6,14	4,64	259,51
50	14,39	45,91	237,01	5,67	4,74	282,60
55	15,07	47,53	263,03	5,20	4,78	303,02

Annexe 6. Production et accroissement d'une sapinière boréale de seconde venue de classe de fertilité I (16 m) ayant une surface terrière totale initiale de 15 m²/ha 10 ans après la coupe

Temps (années)	DHP moyen (cm)	Surface terrière totale (m ² /ha)	Volume marchand (m ³ /ha)	Accroissement annuel en volume marchand		Volume total (m ³ /ha)
				Périodique (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	Moyen (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	
10	2,18	15,00	4,52		0,45	19,19
15	4,84	24,73	24,77	4,05	1,65	60,75
20	7,21	31,75	58,02	6,65	2,90	108,08
25	9,17	36,89	96,68	7,73	3,87	152,71
30	10,76	40,77	135,89	7,84	4,53	192,29
35	12,06	43,78	173,30	7,48	4,95	226,70
40	13,13	46,19	207,97	6,93	5,20	256,49
45	14,04	48,16	239,66	6,34	5,33	282,34
50	14,80	49,79	268,46	5,76	5,37	304,88
55	15,46	51,17	294,58	5,22	5,36	324,66

Annexe 7. Production et accroissement d'une sapinière boréale de seconde venue de classe de fertilité I (16 m) ayant une surface terrière totale initiale de 20 m²/ha 10 ans après la coupe

Temps (années)	DHP moyen (cm)	Surface terrière totale (m ² /ha)	Volume marchand (m ³ /ha)	Accroissement annuel en volume marchand		Volume total (m ³ /ha)
				Périodique (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	Moyen (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	
10	2,41	20,00	7,03		0,70	25,12
15	5,18	29,96	33,26	5,25	2,22	72,69
20	7,59	36,66	72,37	7,82	3,62	123,66
25	9,55	41,39	115,38	8,60	4,62	170,08
30	11,12	44,87	157,46	8,42	5,25	210,35
35	12,41	47,54	196,63	7,83	5,62	244,83
40	13,47	49,64	232,27	7,13	5,81	274,35
45	14,35	51,34	264,40	6,43	5,88	299,75
50	15,11	52,74	290,28	5,78	5,87	321,75
55	15,75	53,91	319,23	5,19	5,80	340,95

Annexe 8. Production et accroissement d'une sapinière boréale de seconde venue de classe de fertilité II (13 m) ayant une surface terrière totale initiale de 5 m²/ha 10 ans après la coupe

Temps (années)	DHP moyen (cm)	Surface terrière totale (m ² /ha)	Volume marchand (m ³ /ha)	Accroissement annuel en volume marchand		Volume total (m ³ /ha)
				Périodique (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	Moyen (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	
10	1,01	5,00	0,28		0,03	5,96
15	2,62	12,23	3,71	0,69	0,25	26,35
20	4,23	19,13	13,45	1,95	0,67	55,39
25	5,63	25,01	29,11	3,13	1,16	86,52
30	6,81	29,91	48,70	3,92	1,62	116,46
35	7,81	33,99	70,34	4,33	2,01	144,01
40	8,65	37,41	92,68	4,47	2,32	168,87
45	9,37	40,30	114,85	4,43	2,55	191,14
50	9,98	42,78	136,34	4,30	2,73	211,04
55	10,52	44,92	156,89	4,11	2,85	228,86

Annexe 9. Production et accroissement d'une sapinière boréale de seconde venue de classe de fertilité II (13 m) ayant une surface terrière totale initiale de 10 m²/ha 10 ans après la coupe

Temps	DHP moyen (cm)	Surface terrière totale (m ² /ha)	Volume marchand (m ³ /ha)	Accroissement annuel en volume marchand		Volume total (m ³ /ha)
				Périodique (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	Moyen (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	
10	1,29	10,00	0,82		0,08	11,40
15	3,09	19,41	7,56	1,35	0,50	40,60
20	4,78	27,05	22,91	3,07	1,15	76,62
25	6,21	33,00	44,57	4,33	1,78	112,15
30	7,39	37,69	69,46	4,98	2,32	144,58
35	8,37	41,43	95,36	5,18	2,72	173,34
40	9,19	44,49	120,95	5,12	3,02	198,60
45	9,89	47,01	145,52	4,91	3,23	220,77
50	10,48	49,14	168,71	4,64	3,37	240,28
55	10,99	50,95	190,41	4,34	3,46	257,51

Annexe 10. Production et accroissement d'une sapinière boréale de seconde venue de classe de fertilité II (13 m) ayant une surface terrière totale initiale de 15 m²/ha 10 ans après la coupe

Temps (années)	DHP moyen (cm)	Surface terrière totale (m ² /ha)	Volume marchand (m ³ /ha)	Accroissement annuel en volume marchand		Volume total (m ³ /ha)
				Périodique (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	Moyen (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	
10	1,49	15,00	1,53		0,15	16,67
15	3,39	25,44	11,45	1,98	0,76	52,29
20	5,13	33,13	31,28	3,97	1,56	92,63
25	6,57	38,82	57,19	5,18	2,29	130,53
30	7,75	43,14	85,50	5,66	2,85	164,07
35	8,72	46,52	113,95	5,69	3,26	193,19
40	9,53	49,23	141,34	5,48	3,53	218,37
45	10,21	51,45	167,13	5,16	3,71	240,20
50	10,78	53,29	191,10	4,80	3,82	259,23
55	11,28	54,85	213,25	4,43	3,88	275,91

Annexe 11. Production et accroissement d'une sapinière boréale de seconde venue de classe de fertilité II (13 m) ayant une surface terrière totale initiale de 20 m²/ha 10 ans après la coupe

Temps (années)	DHP moyen (cm)	Surface terrière totale (m ² /ha)	Volume marchand (m ³ /ha)	Accroissement annuel en volume marchand		Volume total (m ³ /ha)
				Périodique (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	Moyen (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	
10	1,64	20,00	2,38		0,24	21,82
15	3,63	30,82	15,37	2,60	1,02	62,57
20	5,39	38,25	39,02	4,73	1,95	105,98
25	6,84	43,55	68,25	5,85	2,73	145,38
30	8,01	47,48	99,07	6,16	3,30	179,48
35	8,98	50,51	129,29	6,04	3,69	208,64
40	9,77	52,90	157,86	5,71	3,95	233,57
45	10,44	54,84	184,38	5,30	4,10	255,01
50	11,00	56,45	208,77	4,88	4,18	273,57
55	11,49	57,79	231,10	4,47	4,20	289,75

Annexe 12. Production et accroissement d'une sapinière boréale de seconde venue de classe de fertilité III (10 m) ayant une surface terrière totale initiale de 5 m²/ha 10 ans après la coupe

Temps (années)	DHP moyen (cm)	Surface terrière totale (m ² /ha)	Volume marchand (m ³ /ha)	Accroissement annuel en volume marchand		Volume total (m ³ /ha)
				Périodique (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	Moyen (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	
10	0,69	5,00	0,10		0,01	5,18
15	1,84	12,58	1,72	0,32	0,11	22,68
20	3,01	19,96	7,25	1,11	0,36	47,47
25	4,04	26,32	17,22	1,99	0,69	73,95
30	4,91	31,65	30,64	2,68	1,02	99,37
35	5,65	36,11	46,25	3,12	1,32	122,72
40	6,28	39,87	62,99	3,35	1,57	143,77
45	6,81	43,05	80,09	3,42	1,78	162,61
50	7,27	45,78	97,05	3,39	1,94	179,44
55	7,67	48,15	113,58	3,30	2,07	194,50

Annexe 13. Production et accroissement d'une sapinière boréale de seconde venue de classe de fertilité III (10 m) ayant une surface terrière totale initiale de 10 m²/ha 10 ans après la coupe

Temps (années)	DHP moyen (cm)	Surface terrière totale (m ² /ha)	Volume marchand (m ³ /ha)	Accroissement annuel en volume marchand		Volume total (m ³ /ha)
				Périodique (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	Moyen (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	
10	0,88	10,00	0,28		0,03	9,90
15	2,16	19,97	3,49	0,64	0,23	34,95
20	3,39	28,22	12,35	1,77	0,62	65,66
25	4,45	34,73	26,36	2,80	1,05	95,86
30	5,33	39,88	43,70	3,47	1,46	123,36
35	6,06	44,02	62,70	3,80	1,79	147,72
40	6,67	47,41	82,20	3,90	2,06	169,09
45	7,19	50,22	101,47	3,85	2,25	187,82
50	7,63	52,59	120,10	3,72	2,40	204,30
55	8,02	54,61	137,85	3,55	2,51	218,85

Annexe 14. Production et accroissement d'une sapinière boréale de seconde venue de classe de fertilité III (10 m) ayant une surface terrière totale initiale de 15 m²/ha 10 ans après la coupe

Temps (années)	DHP moyen (cm)	Surface terrière totale (m ² /ha)	Volume marchand (m ³ /ha)	Accroissement annuel en volume marchand		Volume total (m ³ /ha)
				Périodique (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	Moyen (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	
10	1,01	15,00	0,51		0,05	14,47
15	2,38	26,17	5,29	0,95	0,35	45,01
20	3,65	34,56	16,87	2,32	0,84	79,38
25	4,71	40,84	33,82	3,39	1,35	111,57
30	5,58	45,65	53,79	3,99	1,79	140,00
35	6,31	49,43	74,92	4,23	2,14	164,63
40	6,91	52,47	96,06	4,23	2,40	185,91
45	7,42	54,96	116,54	4,10	2,59	204,35
50	7,85	57,04	136,03	3,90	2,72	220,41
55	8,23	58,79	154,38	3,67	2,81	234,48

Annexe 15. Production et accroissement d'une sapinière boréale de seconde venue de classe de fertilité III (10 m) ayant une surface terrière totale initiale de 20 m²/ha 10 ans après la coupe

Temps (années)	DHP moyen (cm)	Surface terrière totale (m ² /ha)	Volume marchand (m ³ /ha)	Accroissement annuel en volume marchand		Volume total (m ³ /ha)
				Périodique (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	Moyen (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	
10	1,12	20,00	0,81		0,08	18,95
15	2,55	31,70	7,10	1,26	0,47	53,86
20	3,83	39,91	21,04	2,79	1,05	90,82
25	4,90	45,83	40,37	3,87	1,61	124,26
30	5,77	50,25	62,33	4,39	2,08	153,14
35	6,49	53,67	85,01	4,54	2,43	177,80
40	7,09	56,38	107,29	4,46	2,68	198,86
45	7,59	58,59	128,57	4,26	2,86	216,95
50	8,01	60,41	148,61	4,01	2,97	232,60
55	8,38	61,95	167,30	3,74	3,04	246,24

Annexe 16. Caractéristiques statistiques des équations de la surface terrière totale, du volume marchand et du volume total n'utilisant pas l'indice de qualité de station comme variable explicative

Caractéristiques du modèle / Niveau de signification des paramètres				
Statistiques / variables	DL	Surface terrière totale	Volume marchand	Volume total
Valeur de Fisher		56951,5850	158,8200	392,7450
Prob. <062> Fisher		0,0001	0,0001	0,0001
Coefficient de détermination			0,7033	0,8543
Écart type résiduelle		0,2105	0,5244	0,2030
Coefficient de variation		6,0202	11,5017	4,0120
Ordonnée à l'origine	1		0,9335	0,0001
1 / T ₁	1		0,0001	0,0001
(T ₀ / T ₁) lnSTT ₀	1	0,0001	0,0001	0,0001
1 - T ₀ / T ₁	1		0,0001	0,0001

DL : degrés de liberté.

Annexe 17. Production et accroissement d'une sapinière boréale riche de seconde venue ayant une surface terrière totale initiale de 5 m²/ha 10 ans après la coupe

Temps (années)	DHP moyen (cm)	Surface terrière totale (m ² /ha)	Volume marchand (m ³ /ha)	Accroissement annuel en volume marchand		Volume total (m ³ /ha)
				Périodique (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	Moyen (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	
10	2,46	5,00	2,74		0,27	8,09
15	5,59	11,87	17,75	3,01	1,18	35,15
20	8,44	18,30	45,18	5,49	2,26	73,25
25	10,79	23,71	79,13	6,79	3,17	113,79
30	12,72	28,19	114,97	7,17	3,83	152,64
35	14,31	31,90	150,15	7,03	4,29	188,27
40	15,62	35,00	183,42	6,65	4,59	220,35
45	16,73	37,61	214,32	6,18	4,76	249,04
50	17,67	39,84	242,75	5,69	4,85	274,65
55	18,48	41,79	268,79	5,21	4,89	297,56

Annexe 18. Production et accroissement d'une sapinière boréale riche de seconde venue ayant une surface terrière totale initiale de 10 m²/ha 10 ans après la coupe

Temps (années)	DHP moyen (cm)	Surface terrière totale (m ² /ha)	Volume marchand (m ³ /ha)	Accroissement annuel en volume marchand		Volume total (m ³ /ha)
				Périodique (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	Moyen (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	
10	2,20	10,00	5,00		0,50	14,63
15	5,20	18,85	26,50	4,30	1,77	52,15
20	7,99	25,87	61,02	6,90	3,05	98,47
25	10,33	31,29	100,64	7,92	4,03	144,19
30	12,27	35,52	140,48	7,97	4,68	185,93
35	13,86	38,89	178,28	7,56	5,09	222,96
40	15,20	41,62	213,16	6,98	5,33	255,50
45	16,33	43,89	244,95	6,36	5,44	284,05
50	17,29	45,77	273,76	5,76	5,48	309,17
55	18,12	47,38	299,83	5,21	5,45	331,37

Annexe 19. Production et accroissement d'une sapinière boréale riche de seconde venue ayant une surface terrière totale initiale de 15 m²/ha 10 ans après la coupe

Temps (années)	DHP moyen (cm)	Surface terrière totale (m ² /ha)	Volume marchand (m ³ /ha)	Accroissement annuel en volume marchand		Volume total (m ³ /ha)
				Périodique (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	Moyen (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	
10	2,07	15,00	7,11		0,71	20,68
15	4,98	24,70	33,50	5,28	2,23	65,69
20	7,73	31,69	72,75	7,85	3,64	117,08
25	10,07	36,80	115,84	8,62	4,63	165,81
30	12,01	40,66	157,96	8,42	5,29	208,68
35	13,61	43,66	197,12	7,83	5,63	246,15
40	14,96	46,06	232,75	7,13	5,82	278,60
45	16,10	48,01	264,86	6,42	5,89	306,76
50	17,07	49,64	293,70	5,77	5,87	331,34
55	17,91	51,00	319,63	5,18	5,81	352,90

Annexe 20. Production et accroissement d'une sapinière boréale riche de seconde venue ayant une surface terrière totale initiale de 20 m²/ha 10 ans après la coupe

Temps (années)	DHP moyen (cm)	Surface terrière totale (m ² /ha)	Volume marchand (m ³ /ha)	Accroissement annuel en volume marchand		Volume total (m ³ /ha)
				Périodique (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	Moyen (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	
10	1,98	20,00	9,12		0,91	26,44
15	4,83	29,92	39,57	6,09	2,64	77,38
20	7,56	36,59	82,41	8,57	4,12	132,39
25	9,89	41,29	127,99	9,12	5,12	182,71
30	11,83	44,75	171,65	8,73	5,72	226,49
35	13,44	47,40	211,69	8,01	6,05	264,04
40	14,79	49,49	247,73	7,21	6,19	296,24
45	15,93	51,18	279,96	6,45	6,22	323,98
50	16,91	52,57	308,73	5,75	6,17	348,02
55	17,76	53,74	334,46	5,15	6,08	369,02

Annexe 21. Production et accroissement d'une sapinière boréale mésique de seconde venue ayant une surface terrière totale initiale de 5 m²/ha 10 ans après la coupe

Temps (années)	DHP moyen (cm)	Surface terrière totale (m ² /ha)	Volume marchand (m ³ /ha)	Accroissement annuel en volume marchand		Volume total (m ³ /ha)
				Périodique (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	Moyen (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	
10	1,14	5,00	0,34		0,03	5,88
15	2,94	11,80	4,37	0,81	0,29	26,78
20	4,71	18,13	15,64	2,25	0,78	57,16
25	6,26	23,45	33,61	3,59	1,34	90,08
30	7,56	27,85	55,97	4,47	1,87	121,99
35	8,65	31,48	80,56	4,92	2,30	151,49
40	9,57	34,51	105,87	5,06	2,65	178,21
45	10,36	37,07	130,93	5,01	2,91	202,21
50	11,03	39,26	155,18	4,85	3,10	223,71
55	11,61	41,14	178,33	4,63	3,24	243,00

Annexe 22. Production et accroissement d'une sapinière boréale mésique de seconde venue ayant une surface terrière totale initiale de 7,5 m²/ha 10 ans après la coupe

Temps (années)	DHP moyen (cm)	Surface terrière totale (m ² /ha)	Volume marchand (m ³ /ha)	Accroissement annuel en volume marchand		Volume total (m ³ /ha)
				Périodique (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	Moyen (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	
10	1,32	7,50	0,60		0,06	8,18
15	3,24	15,46	6,40	1,16	0,43	33,37
20	5,07	22,20	20,81	2,88	1,04	67,41
25	6,63	27,58	42,24	4,28	1,69	102,78
30	7,93	31,88	67,70	5,09	2,26	136,16
35	9,02	35,35	94,84	5,43	2,71	166,46
40	9,93	38,20	122,11	5,45	3,05	193,52
45	10,70	40,57	148,64	5,31	3,30	217,58
50	11,35	42,57	173,95	5,06	3,48	238,97
55	11,92	44,29	197,84	4,78	3,60	258,02

Annexe 23. Production et accroissement d'une sapinière boréale mésique de seconde venue ayant une surface terrière totale initiale de 10 m²/ha 10 ans après la coupe

Temps (années)	DHP moyen (cm)	Surface terrière totale (m ² /ha)	Volume marchand (m ³ /ha)	Accroissement annuel en volume marchand		Volume total (m ³ /ha)
				Périodique (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	Moyen (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	
10	1,46	10,00	0,91		0,09	10,33
15	3,47	18,73	8,38	1,49	0,56	39,00
20	5,34	25,63	25,48	3,42	1,27	75,77
25	6,91	30,95	49,67	4,84	1,99	112,87
30	8,21	35,08	77,49	5,56	2,58	147,21
35	9,29	38,37	106,47	5,80	3,04	177,97
40	10,18	41,04	135,12	5,73	3,38	205,18
45	10,94	43,25	162,64	5,50	3,61	229,20
50	11,59	45,10	188,63	5,20	3,77	250,41
55	12,15	46,67	212,96	4,87	3,87	269,23

Annexe 24. Production et accroissement d'une sapinière boréale mésique de seconde venue ayant une surface terrière totale initiale de 12,5 m²/ha 10 ans après la coupe

Temps (années)	DHP moyen (cm)	Surface terrière totale (m ² /ha)	Volume marchand (m ³ /ha)	Accroissement annuel en volume marchand		Volume total (m ³ /ha)
				Périodique (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	Moyen (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	
10	1,59	12,50	1,24		0,12	12,39
15	3,66	21,74	10,33	1,82	0,69	44,02
20	5,55	28,66	29,82	3,90	1,49	82,97
25	7,13	33,83	56,32	5,30	2,25	121,37
30	8,43	37,79	86,04	5,95	2,87	156,39
35	9,50	40,90	116,47	6,09	3,33	187,44
40	10,39	43,40	146,16	5,94	3,65	214,71
45	11,14	45,45	174,40	5,65	3,88	238,63
50	11,78	47,15	200,86	5,29	4,02	259,67
55	12,33	48,60	225,48	4,92	4,10	278,26

Annexe 25. Production et accroissement d'une sapinière boréale pauvre de seconde venue ayant une surface terrière totale initiale de 2,5 m²/ha 10 ans après la coupe

Temps (années)	DHP moyen (cm)	Surface terrière totale (m ² /ha)	Volume marchand (m ³ /ha)	Accroissement annuel en volume marchand		Volume total (m ³ /ha)
				Périodique (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	Moyen (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	
10	0,68	2,50	0,03		0,00	4,58
15	1,78	8,21	0,83	0,16	0,06	20,09
20	2,88	14,87	4,37	0,71	0,22	42,07
25	3,85	21,25	11,83	1,49	0,47	65,56
30	4,67	26,95	22,97	2,23	0,77	88,12
35	5,36	31,94	36,90	2,79	1,05	108,84
40	5,94	36,28	52,65	3,15	1,32	127,52
45	6,44	40,05	69,43	3,36	1,54	144,25
50	6,87	43,36	86,62	3,44	1,73	159,19
55	7,24	46,26	103,81	3,44	1,89	172,56

Annexe 26. Production et accroissement d'une sapinière boréale pauvre de seconde venue ayant une surface terrière totale initiale de 5 m²/ha 10 ans après la coupe

Temps (années)	DHP moyen (cm)	Surface terrière totale (m ² /ha)	Volume marchand (m ³ /ha)	Accroissement annuel en volume marchand		Volume total (m ³ /ha)
				Périodique (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	Moyen (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	
10	1,18	5,00	0,17		0,02	9,57
15	2,57	13,03	2,60	0,49	0,17	32,84
20	3,80	21,03	10,28	1,54	0,51	60,83
25	4,80	28,03	23,45	2,63	0,94	88,06
30	5,61	33,95	40,63	3,44	1,35	112,68
35	6,27	38,93	60,16	3,91	1,72	134,37
40	6,82	43,14	80,76	4,12	2,02	153,35
45	7,28	46,72	101,55	4,16	2,26	169,94
50	7,67	49,80	121,97	4,08	2,44	184,49
55	8,00	52,47	141,70	3,95	2,58	197,32

Annexe 27. Production et accroissement d'une sapinière boréale pauvre de seconde venue ayant une surface terrière totale initiale de 7,5 m²/ha 10 ans après la coupe

Temps (années)	DHP moyen (cm)	Surface terrière totale (m ² /ha)	Volume marchand (m ³ /ha)	Accroissement annuel en volume marchand		Volume total (m ³ /ha)
				Périodique (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	Moyen (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	
10	1,62	7,50	0,45		0,05	14,74
15	3,19	17,07	5,07	0,92	0,34	43,79
20	4,46	25,76	16,96	2,38	0,85	75,48
25	5,46	32,97	34,99	3,61	1,40	104,64
30	6,25	38,87	56,72	4,35	1,89	130,10
35	6,88	43,71	80,08	4,67	2,29	152,00
40	7,39	47,74	103,73	4,73	2,59	170,81
45	7,82	51,13	126,85	4,62	2,82	187,04
50	8,18	54,01	149,01	4,43	2,98	201,12
55	8,49	56,49	169,99	4,20	3,09	213,43

Annexe 28. Production et accroissement d'une sapinière boréale pauvre de seconde venue ayant une surface terrière totale initiale de 10 m²/ha 10 ans après la coupe

Temps (années)	DHP moyen (cm)	Surface terrière totale (m ² /ha)	Volume marchand (m ³ /ha)	Accroissement annuel en volume marchand		Volume total (m ³ /ha)
				Périodique (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	Moyen (m ³ ha ⁻¹ an ⁻¹)	
10	2,04	10,00	0,92		0,09	20,02
15	3,71	20,68	8,14	1,44	0,54	53,70
20	5,00	29,75	24,19	3,21	1,21	87,96
25	5,99	36,99	46,49	4,46	1,86	118,27
30	6,74	42,78	71,87	5,08	2,40	144,08
35	7,35	47,46	98,10	5,25	2,80	165,89
40	7,83	51,30	123,89	5,16	3,10	184,40
45	8,23	54,50	148,54	4,93	3,30	200,20
50	8,56	57,21	171,75	4,64	3,44	213,82
55	8,85	59,52	193,42	4,33	3,52	225,64

Annexe 29. Caractéristiques statistiques de l'équation de la surface terrière totale pour les groupes écoforestiers utilisant l'indice de qualité de station comme variable explicative

Caractéristiques du modèle / Niveau de signification des paramètres				
Statistiques / variables	DL	Groupe riche	Groupe moyen	Groupe pauvre
Valeur de Fisher		25084,8990	8812,2590	3942,8020
Prob. <062> Fisher		0,0001	0,0001	0,0001
Coefficient de détermination		0,1529	0,2446	0,1942
Coefficient de variation		4,2982	7,0942	5,6357
$1 - T_0 / T_1$	1	0,0001	0,0001	0,0001
$(1 - T_0 / T_1)$ IQS	1	0,1847	0,1769	0,7099

DL : degrés de liberté

Annexe 30. Caractéristiques statistiques de l'équation du volume marchand pour les groupes écoforestiers utilisant l'indice de qualité de station comme variable explicative

Caractéristiques du modèle / Niveau de signification des paramètres				
Statistiques / variables	DL	Groupe riche	Groupe mésique	Groupe pauvre
Valeur de Fisher		111,6230	72,0040	13,9500
Prob. <062> Fisher		0,0001	0,0001	0,0001
Coefficient de détermination		0,8665	0,8145	0,7859
Coefficient de variation		4,5218	10,5127	11,4141
Ordonnée à l'origine	1	0,5718	0,0811	0,9223
IQS	1	0,0763	0,0059	0,8556
$1 / T_1$	1	0,0001	0,0001	0,1784
$(T_0 / T_1) \ln STT_0$	1	0,0001	0,0001	0,0001
$1 - T_0 / T_1$	1	0,0098	0,0029	0,5537
$(1 - T_0 / T_1)$ IQS	1	0,2673	0,0895	0,8529
Sous-ensemble de paramètres avec IQS	2	0,0145	0,0001	0,9824

DL : degrés de liberté

Annexe 31. Caractéristiques statistiques de l'équation du volume total pour les groupes écoforestiers utilisant l'indice de qualité de station comme variable explicative

Caractéristiques du modèle / Niveau de signification des paramètres				
Statistiques / variables	DL	Groupe riche	Groupe moyen	Groupe pauvre
Valeur de Fisher		219,9600	115,7840	18,5620
Prob. <062> Fisher		0,0001	0,0001	0,0001
Écart type résiduel		0,9275	0,8759	0,8301
Coefficient de variation		2,4075	3,9970	3,4325
Ordonnée à l'origine		0,1633	0,0099	0,7244
IQS	1	0,4080	0,7034	0,3015
$1 / T_1$	1	0,0001	0,0001	0,2253
$(T_0 / T_1) \ln STT_0$	1	0,0001	0,0001	0,0001
$1 - T_0 / T_1$	1	0,0075	0,0428	0,0737
$(1 - T_0 / T_1) \text{ IQS}$	1	0,8475	0,8625	0,3815
Sous-ensemble de paramètres avec IQS	2	0,0490	0,0166	0,2635

DL : degrés de liberté

—

Les aménagistes forestiers doivent pouvoir prédire la productivité des peuplements, y compris ceux qui se régénèrent après une coupe, en tenant compte des caractéristiques des stations et, dans le cas des sapinières, de la protection qu'on leur accorde pour contrer les épidémies d'insectes nuisibles. C'est dans ce but que le ministère des Ressources naturelles, par sa Direction de la recherche forestière, subventionne certains travaux de recherche portant sur ces aspects de la connaissance de la forêt.



Gouvernement du Québec
Ministère des Ressources
naturelles

ISBN 2-550-31167-1
ISSN 1183-3912
F.D.C. 560:541(057.3)(714)
L.C. SD 396 .B2

RN97-3013

ERRATA

page	paragr.	ligne	
v	1	7	Mme Marie-Josée Blais...
vii	1	20	1) les stations riches...
vii	1	39	comme c'est le cas...
vii	2	18	1) <i>rich sites with seepage</i> ...
x			3.1.1.3. Volume total page 17
x			3.1.2. à 3.2.1. incl. Augmenter les numéros de page de 2 (ex. 15 devient 17, etc.)
x			3.2.2.1. à Bibliographie incl. Augmenter les numéros de page de 2 (ex. 27 devient 29, etc.)
xi et pages suivantes			Ker (1991) devient Ker et Bowling (1991)
12	5	5	... comme le recommandent Belsley <i>et al.</i> (1980),...
15	1	8	... moyen, il est de 14,9 m.
15	2	4	la valeur de Fisher, le rapport des temps est significatif...
16, 18 et 20		Figures 5, 7 et 10	— devrait être —◇—
Tableau 7			Surface terrière totale Volume marchand Volume total
Coefficient de détermination			0,8373 0,8964
17	5	6	figure 12...
17	5	10	(figure 13).
20 à 25 incl.		Figures 11 à 21 incl.	... après la coupe avec celles de...
27 et ss			(mésique est ici synonyme de moyen ou moyenne)
27	2	5	... ceux obtenus, car ils varient entre...
28	Tableau 11	Titre	Description des groupes écoforestiers et classes de...
		Station humide	Dépôts épais (> 1m) imparfaitement...
		Station très humide	Dépôts épais (> 1m) mal drainés
29	2	22	... observées dans les 57 placettes...
35	Figure 30		(La dernière ligne verticale pointillée doit arriver à environ 60 ans)
36	Figure 32		(La dernière ligne verticale pointillée doit arriver à environ 70 ans)
41	3	3	... croissant sur un site ayant un IQS supérieur...
42 à 44 incl.			Augmenter le numéro de toutes les figures auxquelles on fait référence dans le texte de 1 (ex. figure 4 devient figure 5, etc.).
42	1	1	... 10 ans après la coupe est élevée,...
42	2	20	... et que le coefficient de distribution...
42	4	15	... de coupe qui comporte peu ou pas de tiges marchandes.
42	5	11	... celles de l'équation 14.
43	6	3	... et entre les types écologiques correspondants...
		4	différences aussi observées par...
43	7	10	écologiques ayant le même dépôt et le même drainage...
44	3	18	suyant l'équation 12.
44	5	5	l'équation 15, seul le groupe...
47	3	4	protection pendant la récolte assure...
50	5	1	Belsley, D.A., E. Kuh et R. Welsch, 1980. <i>Regression</i> ...
50	17	2	Carnean, W.H., 1972. <i>Site index curves for upland oaks in the Central States</i> . For. Sci. 18 : 102-120.
64	Annexe 16		Écart type résiduel

