

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



0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

Effets réels décennaux des coupes de jardinage pratiquées de 1995 à 1999 dans un contexte opérationnel

par François Guillemette, Martin-Michel Gauthier, Marie-Claude Lambert et Steve Bédard

MÉMOIRE DE RECHERCHE FORESTIÈRE N° 168

DIRECTION DE LA RECHERCHE FORESTIÈRE

Effets réels décennaux des coupes de jardinage pratiquées de 1995 à 1999 dans un contexte opérationnel

par François Guillemette, ing.f., M. Sc.,
Martin-Michel Gauthier, ing.f., *Ph. D.*, Marie-Claude Lambert, stat., M. Sc.
et Steve Bédard, ing.f., M. Sc.

MÉMOIRE DE RECHERCHE FORESTIÈRE N° 168

DIRECTION DE LA RECHERCHE FORESTIÈRE

Mandat de la DRF

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

Les mémoires de recherche forestière de la DRF

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

Vous pouvez adresser vos demandes à :

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

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

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

ISSN : 1183-3912
ISBN : 978-2-550-66799-5
ISBN (PDF) : 978-2-550-66800-8
F.D.C. 243
L.C. SD 553

Notes biographiques



François Guillemette est ingénieur forestier diplômé de l'Université Laval depuis 2001. En 2002, le même établissement lui décerne un diplôme de maîtrise ès sciences. De 2001 à 2002, il a travaillé comme conseiller forestier en gestion intégrée des ressources à la Fédération des pourvoyeurs en chasse et pêche du Québec. Puis, de 2002 à 2005, il a été à l'emploi du Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy Inc., où ses travaux de recherche ont porté principalement sur la sylviculture et le rendement des forêts feuillues et des forêts de pin blanc.

Depuis 2005, il est à l'emploi de la Direction de la recherche forestière à titre de chercheur, et ses travaux portent sur la dynamique des peuplements feuillus après coupe partielle. Il s'intéresse plus particulièrement aux jeunes peuplements feuillus, de même qu'aux différents systèmes de classement des arbres feuillus sur pied (qualité, vigueur, risque de mortalité).



Martin-Michel Gauthier est ingénieur forestier, diplômé de l'Université du Nouveau-Brunswick en 2002. En 2005, l'Université Laval lui décerne un diplôme de maîtrise ès sciences. Ses travaux de maîtrise ont porté sur la régénération de l'épinette noire en forêt boréale. En 2008, il obtient un doctorat de l'Université Purdue (Indiana, États-Unis) sur la sylviculture et l'écophysiologie des feuillus nobles. Depuis 2010, il est à l'emploi de la Direction de la recherche forestière. Il collabore aux travaux des chercheurs sur la sylviculture des forêts feuillues, mixtes et résineuses.



Marie-Claude Lambert est statisticienne, diplômée de l'Université Laval depuis 1996. En 1998, le même établissement lui décernait un diplôme de maîtrise ès sciences. De 1997 à 2006, elle travaille au Centre de foresterie des Laurentides comme statisticienne, où elle collabore principalement aux projets du groupe ECOLEAP. Depuis 2006, elle est à l'emploi de la Direction de la recherche forestière, au sein de l'équipe de biométrie.

Notes biographiques (suite)



Steve Bédard est ingénieur forestier, diplômé de l'Université Laval depuis 1992. En 1998, le même établissement lui décerne un diplôme de maîtrise ès sciences. De 1992 à 1998, il a occupé des postes de chargé de recherche à l'Université Laval et dans des organismes privés de recherche et de transfert de connaissances.

Depuis 1998, il est à l'emploi de la Direction de la recherche forestière, et ses travaux portent sur la sylviculture des forêts feuillues et mélangées. Il s'intéresse particulièrement aux effets de différents traitements sylvicoles sur la croissance, la régénération et la qualité des tiges dans les peuplements à dominance d'érable à sucre et de bouleau jaune.

Remerciements

Les auteurs désirent remercier le personnel du MRN dans les directions régionales et les unités de gestion pour la cueillette des données sur le terrain. De plus, des remerciements particuliers s'adressent à MM. Zoran Majcen, ing.f., *Ph. D.*, Sébastien Meunier, ing.f., M. Sc., et Pierrot Boulay, technicien forestier, pour la gestion du projet au cours des premières années, ainsi qu'à MM. Jocelyn Hamel et Pierre Laurent, techniciens forestiers, responsables des vérifications et des données depuis 2005. Des

remerciements s'adressent également aux réviseurs anonymes ainsi qu'à l'éditeur associé pour leurs commentaires constructifs, à Mme Denise Tousignant pour la révision linguistique et l'édition du manuscrit, à Mmes Sylvie Bourassa, Brigitte Boudreault et Maripierre Jalbert pour la mise en page, ainsi qu'à M. Jean Noël pour la préparation de la figure 2. Ces travaux ont été financés dans le cadre du projet interne 112310053 de la DRF.

Résumé

Nous présentons les résultats après 10 ans de la mesure du dispositif des effets réels des coupes de jardinage, telles qu'elles étaient pratiquées par les industriels forestiers au cours des années 1995 à 1999 dans les forêts publiques du Québec. Le dispositif se compose d'unités témoins et jardinées réparties dans 280 territoires d'intervention forestière du Québec méridional. Les mesures ont été prises avant la coupe, après la coupe, puis cinq et dix années après la coupe, afin de calculer le prélèvement, les changements de qualité des peuplements, leur accroissement périodique et leurs pertes par mortalité.

Les prélèvements moyens mesurés dans ce dispositif satisfont généralement aux principaux critères du Manuel d'aménagement forestier, soit un taux de prélèvement de 25 à 35 % de la surface terrière, une surface terrière résiduelle d'au moins $16 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ et une augmentation du pourcentage de la surface terrière occupée par des arbres de qualité. Toutefois, une grande partie de ces coupes de jardinage ont été pratiquées en laissant sur pied des peuplements de trop faible qualité, suite à des choix de traiter certains peuplements dont la qualité initiale était faible et à des prélèvements d'arbres de qualité. Conséquemment, l'accroissement moyen observé pour la première période décennale ($0,22 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$)

est généralement plus faible que celui escompté ($\geq 0,36 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$) et qui permettrait de reconstituer le prélèvement au cours de la rotation (20 ± 5 ans).

Les résultats montrent aussi des différences régionales importantes. Ainsi, les érablières situées dans les régions écologiques de l'est de la province (régions écologiques 4f, 4g et 4h) ont eu un accroissement net significativement supérieur ($0,43 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ dans les peuplements traités) à celui observé dans les bétulaies jaunes résineuses et les érablières des régions écologiques 3b et 3c ($0,17$ à $0,24 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$). Un cas particulier est celui des érablières des collines du Témiscamingue, pour lesquelles l'accroissement net a été très faible ($0,03 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ en peuplement traité), notamment à cause du chablis survenu en 2006, autant dans les peuplements traités que témoins.

Même si l'accroissement moyen est modéré suite aux coupes de jardinage pratiquées dans un contexte opérationnel, près de la moitié (45 %) des peuplements traités a affiché un accroissement équivalent ou supérieur à celui des dispositifs de recherche de la Direction de la recherche forestière ($0,3 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$). Par conséquent, il est envisageable qu'une bonne partie d'entre eux atteigne en 25 ans une surface terrière suffisante pour permettre une seconde coupe, si cet accroissement se maintient.

Mots clés : coupe de jardinage, accroissement en surface terrière, effets réels, mortalité, recrutement, rotation, érablière, peuplement mixte.

Abstract

We present 10-year results of measurements in a plot network designed to monitor the effects of selection cuttings carried out by the forest industry from 1995 to 1999 in the public forests of Québec. The design includes control and treated units in a total of 280 forest intervention territories throughout southern Québec. Measurements were taken before and after the selection cutting, then 5 and 10 years later. Cutting rate, stand quality changes, periodic growth increments and mortality losses were calculated.

Overall, treated stands met the criteria for selection cuttings described in the province's forest management manual, namely a removal rate of 25 to 35% of basal area, a residual basal area of at least $16 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ and an increase in the proportion of quality stems. However, many residual stands were of low quality, either because the treatment had initially targeted some poor quality stands or because it removed too many quality stems. Consequently, the mean growth increment of $0.22 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ observed during this first 10-year period was lower than the $0.36 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ threshold required to ensure full recovery of the harvested basal area within a 20 ± 5 year cutting cycle.

Results also highlight important regional differences. Maple stands in the province's eastern ecoregions (4f, 4g and 4h) reached a significantly higher net growth increment ($0.43 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ in treated stands) than yellow birch-conifer stands and maple stands of the 3b and 3c ecoregions (0.17 to $0.24 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$). A peculiar situation also occurred in maple stands on the hills of the Temiscamingue region: net increment was very low ($0.03 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ in treated stands), mostly due to an exceptional wind-fall event in 2006, which affected both treated and control units.

Although mean growth increment was only moderate following the operational selection cuttings, 45% of monitored stands reached growth increments equal to or higher than those observed in experimental plots set up by the Direction de la recherche forestière ($0.3 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$). Therefore, provided growth rates are maintained, many stands could have enough basal area to allow a second cut within 25 years.

Keywords : selection cutting, basal area increment, monitoring, mortality, recruitment, cutting cycle, maple stand, mixedwood.

Table des matières

| | |
|---|------|
| Résumé | vii |
| Abstract | viii |
| Liste des tableaux et annexe | xi |
| Liste des figures | xiii |
| Introduction | 1 |
| Chapitre premier – Méthode | 3 |
| 1.1 Dispositif | 3 |
| 1.2 Traitement des données | 5 |
| 1.3 Analyses statistiques | 5 |
| Chapitre deux – Résultats | 7 |
| 2.1 Portrait avant la coupe | 7 |
| 2.2 Portrait après la coupe | 11 |
| 2.3 Portrait des secteurs après 10 ans | 14 |
| 2.4 Croissance annuelle périodique des peuplements | 17 |
| 2.4.1 Effets des traitements sur l'accroissement décennal | 17 |
| 2.4.2 Effets des groupes sur l'accroissement décennal | 17 |
| 2.4.3 Atteinte des cibles | 19 |
| 2.4.4 Effets des traitements par période quinquennale | 19 |
| Chapitre trois – Discussion | 21 |
| 3.1 Hypothèses du Manuel d'aménagement forestier | 21 |
| 3.2 Facteurs de réussite | 21 |
| 3.2.1 Relier les objectifs d'accroissement au choix des peuplements à traiter | 21 |
| 3.2.2 Améliorer les peuplements | 22 |
| 3.2.3 Bénéficier de conditions climatiques favorables | 22 |
| 3.3 Variations écologiques | 24 |
| 3.3.1 Érablières des collines de l'Outaouais, de la basse Gatineau, du lac Nominique et des hautes collines du bas Saint-Maurice (Er 2a3a R07, 3b et 3c) | 24 |
| 3.3.2 Érablières des collines du Témiscamingue (Er 3a R08) | 24 |
| 3.3.3 Érablières des Appalaches (Er 3d, 4fgh) | 25 |
| 3.3.4 Érablières des coteaux du réservoir Cabonga et des collines du moyen Saint-Maurice (Er 4bc) | 25 |
| 3.3.5 Bétulaies jaunes (Bj et BjR) | 25 |
| 3.4 Implications pour l'aménagement | 25 |
| Conclusion | 27 |
| Références bibliographiques | 29 |
| Annexe | 33 |

Liste des tableaux et annexe

| | |
|---|----|
| Tableau 1. Dénombrement des placettes, des unités expérimentales et des territoires étudiés par groupe de peuplements et par traitement (TE : témoin, TR : traités) | 4 |
| Tableau 2. Surface terrière marchande, répartition de celle-ci par essence et demi-amplitude de l'intervalle de confiance à 95 % (IC) selon le groupe, le traitement (TE : témoin, TR : traité) et la période (AVC : avant la coupe; APC : après la coupe; 10 ans : après 10 ans) | 8 |
| Tableau 3. Répartition de la surface terrière marchande par classe de vigueur et demi-amplitude de l'intervalle de confiance à 95 % (IC) selon le groupe, le traitement (TE : témoin, TR : traité) et la période (AVC : avant la coupe, APC : après la coupe, 10 ans : après 10 ans) | 12 |
| Tableau 4. Composantes de l'accroissement annuel périodique et demi-amplitude de l'intervalle de confiance à 95 % (IC) selon le groupe et le traitement (TE : témoin; TR : traité) pour les dix premières années après la coupe de jardinage | 18 |
| Tableau 5. Proportion des unités expérimentales traitées de chaque groupe dont : 1) l'AAN décennal est $\geq 0,3 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$; 2) l'AAV décennal est $\geq 0,4 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ | 19 |
| Annexe. Normes pour la pratique de la coupe de jardinage de 1995 à 1999 | 33 |

Liste des figures

| | | |
|-------------------|---|----|
| Figure 1. | Superficie des aires traitées par coupe de jardinage et par coupe à diamètre limite au Québec pour les années 1986 à 2005 | 1 |
| Figure 2. | Répartition des territoires à l'étude selon leur groupe..... | 4 |
| Figure 3. | Dhp moyen quadratique selon le groupe, a) avant la coupe et 10 ans plus tard dans les peuplements témoins, et b) avant la coupe, après la coupe et 10 ans plus tard dans les peuplements traités | 10 |
| Figure 4. | Répartition par classe de dhp (cm) de la surface terrière marchande ($m^2 \cdot ha^{-1}$) des groupes de peuplements avant la coupe, pour a) les érablières et b) les autres groupes | 11 |
| Figure 5. | Prélèvement moyen en surface terrière ($m^2 \cdot ha^{-1}$), selon le groupe, dans les unités traitées | 14 |
| Figure 6. | Répartition par classe de dhp (cm) de la surface terrière marchande ($m^2 \cdot ha^{-1}$) de chacun des groupes avant la coupe (ligne pleine), après la coupe (ligne pointillée) et après 10 ans (ligne grisée) | 15 |
| Figure 7. | Capital forestier en croissance (CFC, $m^2 \cdot ha^{-1}$) selon le groupe et la période, pour a) les unités expérimentales témoins et b) les unités expérimentales traitées..... | 16 |
| Figure 8. | Effet des traitements et de la période (0-5 ans et 5-10 ans) sur les moyennes provinciales de a) l'accroissement annuel net (AAN), b) l'accroissement annuel brut (AAB) et c) l'accroissement annuel des arbres vivants (AAV) | 20 |
| Figure 9. | Sol très mince d'une érablière à hêtre de l'Outaouais | 23 |
| Figure 10. | Érable à sucre de la classe de vigueur 3 qui aurait dû être récolté lors de la coupe de jardinage afin de réduire les risques de mortalité | 23 |
| Figure 11. | Érablière à hêtre de l'Outaouais photographiée 15 ans après la coupe de jardinage | 23 |
| Figure 12. | Érablière à bouleau jaune du Témiscamingue photographiée quatre ans après le chablis de 2006 et 15 ans après la coupe de jardinage | 23 |
| Figure 13. | Érablière à bouleau jaune du Témiscamingue n'ayant pas été touchée par le chablis de 2006, photographiée 10 ans après la coupe de jardinage | 23 |
| Figure 14. | Bétulaie jaune résineuse de la région de Portneuf photographiée 14 ans après la coupe de jardinage | 23 |

Introduction

Au début des années 1980, la réduction des volumes disponibles en bois feuillus de qualité a encouragé l'application de la coupe de jardinage dans les érablières. Cette pratique visait à maintenir leur productivité et à assurer le rendement soutenu en bois de haute qualité (MAJGEN 1995a). La coupe de jardinage est issue d'une longue tradition forestière dans plusieurs pays d'Europe centrale. La pratique remonte à la fin du XIX^e siècle, notamment dans les forêts inéquiennes dominées par le sapin pectiné (*Abies alba* Mill.). Plus près de nous, dans le nord-est des États-Unis, elle a été introduite dans les forêts inéquiennes de feuillus, surtout les érablières. Au Québec, la pratique de la coupe de jardinage dans les érablières a été initiée au début des années 1980. Cette approche se base sur les connaissances acquises dans ces pays, tout en tenant compte des études réalisées sur la structure et la croissance des érablières québécoises (MAJGEN *et al.* 1984, 1985). Plusieurs placettes expérimentales ont été établies dans diverses régions du Québec méridional par la Direction de la recherche forestière (DRF) du ministère des Ressources naturelles (MRN). D'abord pratiquée sur une base expérimentale, cette approche

s'est répandue au cours des années 1990, période au cours de laquelle elle a graduellement remplacé la coupe à diamètre limite dans les forêts du domaine de l'État (Figure 1). Ainsi, en 1994, la Stratégie de protection des forêts préconisait « que la coupe de jardinage soit pratiquée dans tous les peuplements, lorsqu'ils répondent aux caractéristiques dendrométriques, écologiques et floristiques exigées par ce traitement » (MRN 1994).

En plus des travaux de recherche et de démonstration, le MRN s'est doté d'un dispositif provincial de mesure des effets réels des coupes de jardinage exécutées par les bénéficiaires de contrat d'approvisionnement et d'aménagement forestier (CAAF). Ce dispositif a été établi entre 1995 et 1999, avec l'objectif principal de vérifier si les hypothèses relatives à la production, énoncées dans le Manuel d'aménagement forestier (MFO 1992, MRN 1998b), se confirmeraient à la suite de l'application du traitement par les bénéficiaires de CAAF. En effet, déjà à cette époque, des inquiétudes avaient été soulevées quant à la possibilité que ces coupes n'améliorent pas la qualité de la forêt de feuillus.

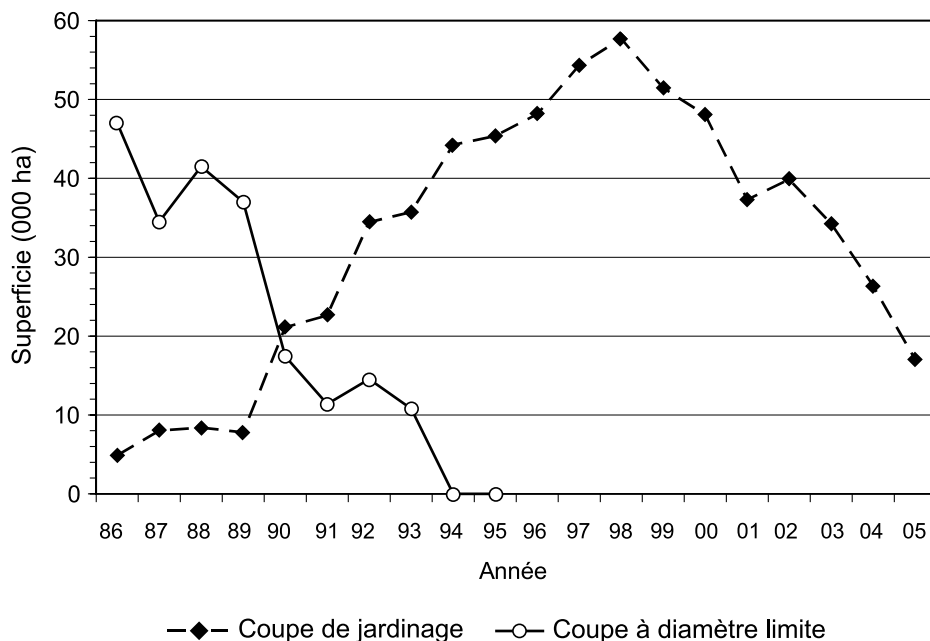


Figure 1. Superficie des aires traitées par coupe de jardinage et par coupe à diamètre limite au Québec pour les années 1986 à 2005. (Source : www.mrn.gouv.qc.ca/forets/connaissances/connaissances-statistiques-anterieures.jsp)

Les résultats préliminaires des premières mesures quinquennales ont été publiés pour les unités expérimentales établies en 1995 et 1996 (BÉDARD et BRASSARD 2002), de 1995 à 1998 (BÉDARD *et al.* 2004) et de 1995 à 1999 (GUILLEMETTE *et al.* 2009). Ils ont démontré que les effets escomptés dans le manuel (rotation de 20 ± 5 ans) ne se concrétiseraient pas, et qu'il fallait prévoir une rotation plus longue. Le faible accroissement net obtenu dans les peuplements traités s'expliquait essentiellement par un taux de mortalité élevé. L'accroissement net dans les peuplements coupés n'était pas significativement supérieur à celui des peuplements témoins, ce qui indiquait que la qualité de ces peuplements n'avait pas été améliorée par la coupe. Ce résultat a été attribué principalement au mauvais choix des arbres à couper lors de la récolte, ce qui a eu comme effet de laisser sur pied une quantité importante d'arbres de faible vigueur et de faible qualité. En conséquence, il faut distinguer ces coupes de jardinage pratiquées dans un contexte opérationnel, de celles généralement recommandées par les sylviculteurs (ex. : ARBOGAST 1957, TRIMBLE *et al.* 1974, SMITH et LAMSON 1982, MAJGEN *et al.* 1990).

Ce mémoire de recherche couvre la première période décennale complète de mesures du dispositif d'effets réels des coupes de jardinage en peuplements feuillus et mixtes à dominance feuillue, et bonifie les analyses préliminaires de BÉDARD et BRASSARD (2002), BÉDARD *et al.* (2004) et GUILLEMETTE *et al.* (2009). Le fait d'avoir échantillonné l'ensemble du dispositif sur une plus longue période permet maintenant d'analyser les résultats selon de nouvelles perspectives, soit celle des régions écologiques et celle des deux premières périodes quinquennales successives après la coupe. Les analyses visent notamment à vérifier les hypothèses suivantes émises dans le Manuel d'aménagement forestier (MFO 1992, MRN 1998b) : la proportion des arbres de qualité est plus grande après la coupe, et le volume marchand (ou la surface terrière marchande) prélevé se reconstitue en 15 à 25 ans. De plus, les analyses sont effectuées selon les régions écologiques, tel que prévu au manuel (MRN 1998b). Des analyses supplémentaires sont présentées afin de mieux décrire le traitement réalisé ainsi que les groupes de peuplements traités, en vue d'alimenter la révision des hypothèses de simulation des rendements et des critères d'évaluation du traitement.

Chapitre premier

Méthode

1.1 Dispositif

Le dispositif a été établi en majorité dans le domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune du Québec (SAUCIER *et al.* 2009) et aussi, en partie, dans ceux de l'érablière à tilleul et de la sapinière à bouleau jaune. Les principaux dépôts de surface des territoires à l'étude sont des tills. La température et les précipitations annuelles moyennes varient de 2,5 à 5,0 °C et de 800 à 1 500 mm, respectivement (RÉGNIERE et ST-AMANT 2008). En plus de gradients locaux causés par des différences d'altitude, les variables climatiques régionales suivent un gradient entre le sud-ouest et le nord-est de la province, le sud-ouest étant plus chaud et plus sec que le nord-est (ROBITAILLE et SAUCIER 1998).

Le dispositif comprend des unités expérimentales réparties entre deux traitements, soit des unités témoins (TE), sans intervention, et des unités traitées (TR) selon la pratique des coupes de jardinage au cours de la période à l'étude. En bref, ces coupes consistaient en la récolte de 25 à 35 % de la surface terrière des peuplements, répartie dans toutes les classes de diamètre des arbres et de façon à augmenter la proportion des arbres de qualité. Les normes détaillées d'application de ces coupes de jardinage sont présentées en annexe. Bien qu'au départ, les unités expérimentales auraient dû être formées d'une seule placette chacune, et que celles-ci auraient dû être réparties par paires (traitée et témoin), les caractéristiques initiales de certaines paires d'unités témoins et traitées différaient à certains égards. Certaines unités témoins étaient aussi manquantes, car elles avaient été malencontreusement coupées lors des opérations. De plus, l'intensité d'échantillonnage dans les unités des deux traitements était très différente. En effet, les unités témoins étaient presque toutes composées d'une seule placette, comme le prévoyait le protocole initial, mais les unités traitées comportaient fréquemment de deux à quatre placettes.

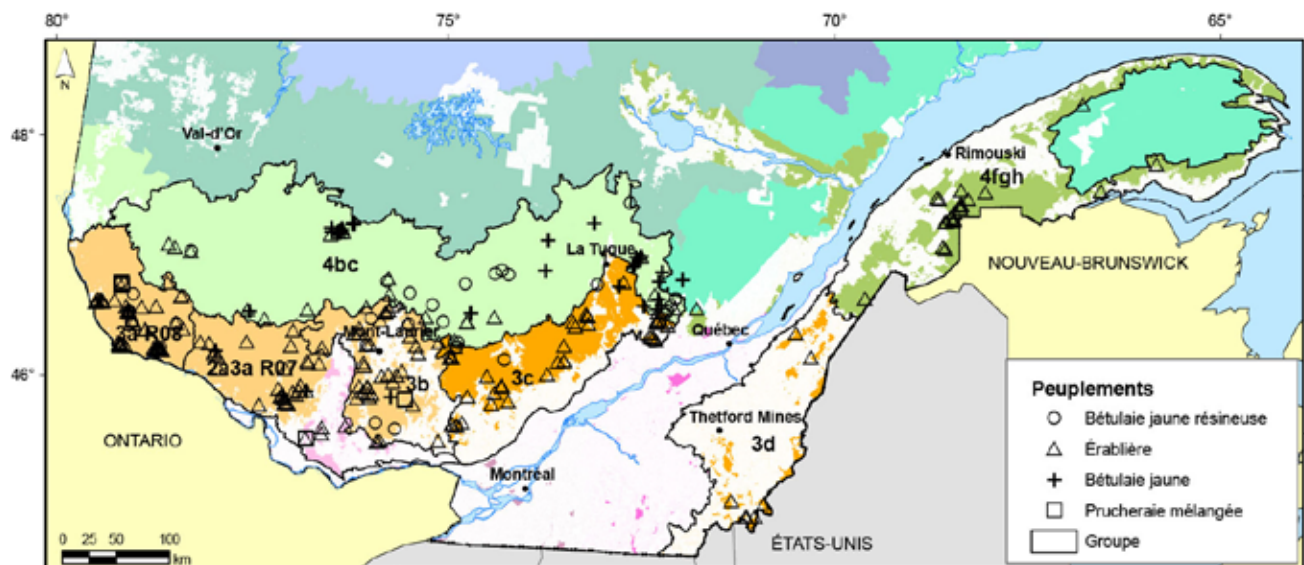
Au total, 528 unités expérimentales ont été retenues pour la présente étude, au sein du territoire couvert par les coupes de jardinage pratiquées de 1995 à 1999. De celles-ci, 277 sont situées dans des peuplements traités (TR) et 251, dans des peuplements témoins (TE, Tableau 1). Cet ensemble est

distribué dans 280 territoires d'intervention à l'étude dans la province. Des groupes de peuplements ont été définis *a posteriori* pour l'ensemble de la province selon trois critères : 1) la composition en essences, 2) la région écologique et 3) les perturbations récentes (Tableau 1). Ainsi, les érablières ont été rassemblées dans sept groupes (Er), lesquels se distinguent selon leur emplacement géographique (Figure 2). Le groupe Er 2a3a R07 est composé d'érablières situées en Outaouais (région 07) dans les collines de la basse Gatineau (région écologique 2a) et dans les collines de l'Outaouais (partie est de la région écologique 3a). Bien qu'appartenant aussi à la région écologique 3a, les érablières des collines du Témiscamingue (région 08) ont été placées dans un groupe à part, étant donné l'effet du chablis sévère survenu en juillet 2006. Les groupes Er 3b et Er 3c sont composés des érablières des collines du lac Nominique et des hautes collines du bas Saint-Maurice, respectivement. Le groupe Er 4fgh est formé des érablières situées dans l'est de la province, soit principalement dans les collines des moyennes Appalaches (4f) et ses environs (4g et 4h). Les érablières des coteaux des basses Appalaches (région écologique 3d) forment le groupe Er 3d, même si le nombre de territoires étudiés y est limité. Les érablières situées plus au nord, dans les coteaux du réservoir Cabonga et dans les collines du moyen Saint-Maurice (4b et 4c, respectivement), forment le groupe Er 4bc. Les prucheraies mélangées, quant à elles, forment le groupe Pru. Deux autres groupes se distinguent par leur composition en essences dominée par le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britton.), soit en peuplement feuillu (Bj) ou mixte (BjR).

La sélection des territoires à l'étude, la localisation des placettes dans ceux-ci et la prise des mesures dans les placettes ont été effectuées par le personnel des unités de gestion du MRN. Les peuplements étaient sélectionnés parmi l'ensemble de ceux ciblés annuellement par les industriels bénéficiaires de CAAF pour la coupe de jardinage, de même que dans quelques territoires où la surface terrière était un peu plus faible et qui se classaient pour la coupe de préjardinage. Ces industriels, ou leurs mandataires, ont exécuté les opérations liées à la récolte. Sur l'ensemble du territoire public du Québec méridional,

Tableau 1. Dénombrement des placettes, des unités expérimentales et des territoires étudiés par groupe de peuplements et par traitement (TE : témoin, TR : traités).

| Groupe de peuplements | | Nombre de placettes | | | Nombre d'unités expérimentales | | Nombre de territoires étudiés |
|-----------------------|-----------------------------|---------------------|-----|-------|--------------------------------|-----|-------------------------------|
| Code | Description | TE | TR | Total | TE | TR | Total |
| Er 2a3a R07 | Érablières 2a3a, région 07 | 24 | 78 | 102 | 24 | 31 | 31 |
| Er 3a R08 | Érablières 3a, région 08 | 43 | 152 | 195 | 42 | 50 | 50 |
| Er 3b | Érablières 3b | 34 | 88 | 122 | 33 | 35 | 36 |
| Er 3c | Érablières 3c | 33 | 80 | 113 | 32 | 36 | 37 |
| Er 3d | Érablières 3d | 7 | 26 | 33 | 7 | 7 | 7 |
| Er 4bc | Érablières 4bc | 23 | 56 | 79 | 21 | 22 | 22 |
| Er 4fgh | Érablières 4fgh | 24 | 29 | 53 | 22 | 22 | 22 |
| Bj | Bétulaies jaunes | 36 | 82 | 118 | 35 | 35 | 36 |
| BjR | Bétulaies jaunes résineuses | 33 | 82 | 115 | 32 | 35 | 35 |
| Pru | Prucheraies mélangées | 3 | 14 | 17 | 3 | 4 | 4 |
| Province | | 260 | 687 | 947 | 251 | 277 | 280 |

Figure 2. Répartition des territoires à l'étude selon leur groupe. Les superficies colorées indiquent le territoire forestier du domaine de l'État selon les sous-domaines bioclimatiques (SAUCIER *et al.* 2009). Rose : érablière à tilleul, orange : érablière à bouleau jaune, vert : sapinière à bouleau jaune, turquoise : sapinière à bouleau blanc, violet = pessière à mousses.

la répartition des peuplements suivis a donc été faite en fonction de l'importance des travaux de coupe exécutés dans chaque région, pour la période couvrant les années 1995 à 1999. Les placettes ont été établies après martelage, mais avant la coupe. En général, les arbres mesurés dans les placettes ont été identifiés après la coupe, de manière à ne pas influencer les travaux de récolte.

La collecte de données à l'intérieur des placettes a été faite avant la coupe, après la coupe, ainsi que 5 et 10 ans après la coupe. Les arbres dont le diamètre à hauteur de poitrine (dhp : mesuré à une hauteur de 1,3 m) était de 9,1 cm et plus ont été numérotés et mesurés dans des placettes circulaires de 400 m². Les données suivantes ont été prises à chaque mesurage sur ces arbres : essence, dhp (à l'aide d'un gallon circonférenciel au mm près) et classe de vigueur (MAJGEN *et al.* 1990). La classe de vigueur des arbres feuillus (codes 1, 2, 3, 4) a été obtenue en fonction de l'interaction de deux classifications dichotomiques. D'abord, l'arbre était dit faible (codes 3 ou 4) ou vigoureux (codes 1 ou 2) s'il présentait ou non un défaut majeur. Les principaux défauts majeurs étaient les blessures majeures, le dépérissement ou le bris sur plus d'un tiers du houppier, la présence de pourriture, de champignon ou de chancre. Ensuite, l'arbre feuillu était dit de qualité (codes 1 ou 3) ou défectueux (codes 2 ou 4) s'il montrait ou non un potentiel de fournir une bille de bois d'œuvre. Ce critère était atteint lorsqu'un tronc ou une branche primaire contenait une bille d'une longueur minimale de 2,5 m et dont le rendement minimum de débits sans défauts était de 50 %. Ces débits avaient une longueur minimale de 60 cm. Pour les essences résineuses, seule la notion d'arbre vigoureux (code 5) ou faible (code 6) a été retenue. Les tiges classées 1 et 5 ont été associées au capital forestier en croissance (CFC), tel que défini par LEAK *et al.* (1987), avec la différence que les essences non désirées en étaient exclues : érable rouge (*Acer rubrum* L.), hêtre à grandes feuilles (*Fagus grandifolia* Ehrh.), peupliers (*Populus* spp.), ormes (*Ornus* spp.) et ostryer de Virginie (*Ostrya virginiana* [Mill.] K. Koch). L'état a été noté à chaque mesure, de même que les changements de dhp et de vigueur. Les états possibles de l'arbre étaient : vivant (résiduel et martelé non récolté), vivant blessé, abattu non récolté, non martelé récolté, martelé récolté, mort sur pied et mort par chablis (déraciné ou cassé). Les arbres dont le dhp avait atteint 9,1 cm au cours de la période de mesurage (5 ou 10 ans) ont été considérés comme des recrues.

1.2 Traitement des données

Bien que la principale hypothèse à tester selon le Manuel d'aménagement forestier (MFO 1992, MRN 1998b) soit la reconstitution du volume marchand en 15 à 25 ans, nous avons choisi de tester l'hypothèse sur la reconstitution de la surface terrière marchande. En effet, comme ces deux variables sont très corrélées, les données de surface terrière sont utiles pour tester l'hypothèse d'amélioration de la qualité des peuplements. De plus, la surface terrière est une donnée pour laquelle il est plus facile de trouver des valeurs comparables dans la littérature scientifique ou dans les normes d'interventions. Par conséquent, les données des placettes ont été additionnées à l'échelle de l'unité expérimentale, en surface terrière (m²·ha⁻¹), selon les composantes suivantes de l'accroissement annuel périodique :

- Accroissement annuel périodique des arbres vivants (AAV) : différence entre la surface terrière des arbres qui avaient 9,1 cm et plus de dhp au début d'une période de mesure, et celle de ceux qui étaient toujours vivants à la fin de la période de mesure (5 ou 10 ans), divisée par le nombre d'années;
- Accroissement annuel périodique des recrues (AAR) : surface terrière des arbres dont le dhp a atteint 9,1 cm au cours de la période de mesure, divisée par le nombre d'années;
- Accroissement annuel périodique brut (AAB) : somme de l'AAV et de l'AAR;
- Mortalité annuelle périodique (MAP) : surface terrière des arbres vivants au début de la période de mesure mais qui sont morts au cours de la période de mesure, divisée par le nombre d'années;
- Accroissement annuel périodique net (AAN) : différence entre l'AAB et la MAP.

1.3 Analyses statistiques

Des statistiques descriptives ont été utilisées afin de bien caractériser chaque groupe avant la coupe, immédiatement après la coupe et 10 ans après la coupe, en distinguant les unités expérimentales traitées des témoins. Cependant, pour être inclus dans l'analyse statistique, un groupe devait avoir au moins 5 unités expérimentales et 20 placettes traitées. Le faible échantillonnage des prucheraies mélangées (4 unités traitées) n'a pas permis de les comparer statistiquement aux autres groupes. Ces analyses ont donc été effectuées seulement sur les neuf autres groupes.

Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide de la procédure MIXED de SAS, version 9.2 (SAS INSTITUTE INC. 2010) afin de déceler la présence de différences significatives entre les traitements, les groupes de peuplements ou les deux périodes quinquennales pour les variables suivantes : la proportion de la surface terrière par essence ou par classe de vigueur, le dhp moyen quadratique, la surface terrière de CFC, l'AAV, l'AAB et l'AAN. Au besoin, la structure du modèle a été modifiée afin de prendre en compte l'effet des mesures répétées dans le temps sur la même unité expérimentale. La mesure avant coupe (surface terrière totale, proportion de la surface terrière ou dhp moyen initial) a été retenue comme covariable pour les analyses, et l'effet de celle-ci était généralement significatif. Les tests ont été reconnus comme significatifs lorsque la valeur de p

était inférieure à un seuil α de 0,05. Les postulats de normalité des résidus et de normalité de la variance ont été vérifiés graphiquement. Les seuils des comparaisons multiples ont été ajustés avec une méthode de simulation (SIMULATE) disponible dans SAS (HSU 1996, WESTFALL *et al.* 1999, SAS INSTITUTE INC. 2010). Afin de conserver la valeur biologique des données, les moyennes présentées sont les moyennes non ajustées par la covariable, même si les résultats des comparaisons multiples ont été obtenus pour des moyennes ajustées par la covariable.

Un test de Student unilatéral à un seuil d'erreur de 5 % a servi à vérifier si l'accroissement net moyen était supérieur ou égal au seuil nécessaire pour reconstituer en 25 ans la surface terrière prélevée.

Chapitre deux

Résultats

2.1 Portrait avant la coupe

À l'échelle provinciale, l'érable à sucre dominait initialement la surface terrière des arbres marchands des peuplements (49 %), suivi du bouleau jaune (24 et 23 %, selon le traitement), des essences résineuses (11 %), du hêtre à grandes feuilles (8 %) et des autres essences feuillues (8 et 9 %, Tableau 2). La répartition de la surface terrière avant la coupe suit bien l'appellation des groupes de peuplements. À titre d'exemple, la plus forte proportion de résineux dans les BjR (36 et 37 %) est évidente, par rapport aux Bj (12 et 13 %). Les autres feuillus étaient plus abondants dans les érablières 2a3a de la région 07 (environ 15 %) que dans les autres érablières (1 à 9 %). Par ailleurs, les résineux dominaient les Pru (57 et 73 %).

Avant la coupe, la surface terrière totale des arbres marchands était relativement importante, avec en moyenne 28,4 et 28,0 m²·ha⁻¹ dans les peuplements témoins et traités, respectivement (Tableau 2). Les Pru se démarquaient avec une moyenne beaucoup plus grande (38,0 et 38,3 m²·ha⁻¹ selon le traitement).

Il y avait des différences de dhp moyen quadratique initial (Figure 3) et de structure diamétrale initiale (Figure 4) entre plusieurs groupes. Nous avons choisi de représenter la structure diamétrale à l'aide de la surface terrière plutôt que la fréquence des arbres afin de mieux faire ressortir les plus gros arbres. Cette représentation est plus conforme à la prise de données d'intervention forestière (points de prisme) et à la méthode d'analyse de la structure utilisée par le Bureau du forestier en chef pour les calculs de possibilité forestière. Quatre des sept groupes d'érablières (Er 2a3a R07, Er 3a R08, Er 3c et Er 4bc) avaient une structure diamétrale assez semblable, avec un sommet dans les moyen bois (30 à 38 cm) et un peu moins de très gros bois (50 cm et plus). C'est pourquoi ils ont été présentés ensemble dans la figure 4a.

Les bétulaies jaunes (Bj) avaient une structure semblable à celle d'une courbe théorique de peuplement jardiné, avec un facteur q près de 1,12 et un dhp

moyen de 27,4 cm (MAJGEN *et al.* 1990; Figure 4b). Le facteur q est une constante qui correspond au rapport entre le nombre de tiges dans une classe de diamètre et le nombre de tiges dans la classe suivante. La représentation graphique de la surface terrière d'une telle structure diamétrale (Figure 4b) montre un plateau dans les classes d'arbres matures (20 cm et plus), ainsi qu'une forte pente entre les perches (10 à 18 cm) et les arbres matures. Le lecteur peut donc se référer à la courbe des Bj comme valeur comparable d'une courbe théorique représentant une structure près de l'état d'équilibre. Les BjR contenaient davantage de perches et petits bois (20 à 28 cm) et moins de très gros bois, surtout à cause de la plus grande abondance des résineux. Cette différence de structure initiale se reflétait dans le dhp moyen quadratique des peuplements traités (23,9 cm, Figure 3), lequel est significativement plus faible ($p < 0,05$) dans les BjR que dans les Bj (27,4 cm) et les érablières 2a3a R07, 3a R08 et 3b (27,1, 27,1 et 29,7 cm, respectivement).

Les Er 3b se distinguaient par une forte abondance de gros (40 à 48 cm) et de très gros bois, auquel était associé le plus grand dhp moyen quadratique, soit 29,7 cm (Figure 3). À l'inverse, les Er 4fgh se distinguaient par une quantité très importante de petits bois et peu de très gros bois. Ces érablières avaient un dhp moyen quadratique initial significativement plus faible (23,5 cm dans les peuplements traités) que les Bj (27,4 cm) et les Er 2a3a R07, Er 3a R08 et Er 3b (27,1 à 29,7 cm). Finalement, les Er 3d avaient une grande quantité de moyens bois et peu de très gros bois.

Près de la moitié de la surface terrière marchande était composée d'arbres vigoureux et de qualité (classes 1 et 5, Tableau 3). Initialement, les peuplements étaient de meilleure qualité dans les Er 4fgh (58 et 60 % dans les classes 1 et 5 des traitements TE et TR, respectivement) et dans les Pru (76 et 65 %). Les peuplements de moins bonne qualité se trouvaient dans les érablières des régions 2a3a R07 (38 et 35 %), 3b (42 et 39 %) et 4bc (35 et 37 %).

Tableau 2. Surface terrière marchande, répartition de celle-ci par essence et demi-amplitude de l'intervalle de confiance à 95 % (IC) selon le groupe, le traitement (TE : témoin, TR : traité) et la période (AVC : avant la coupe; APC : après la coupe; 10 ans : après 10 ans). Les différences significatives dans les mesures d'une période, comparativement aux mesures de la période précédente, sont montrées par une flèche (↓ ou ↑) indiquant leur sens. Les codes de groupe de peuplements sont définis au tableau 1.

| Groupe | Traitement | Nombre d'unités expérimentales | Période | Surface terrière marchande (m ² .ha ⁻¹) | | | | | | | | | | | |
|-------------|------------|--------------------------------|---------|--|-----|-----------------------------|----|----------------------------|----|--------------------|----|------------------------------|----|-----------------------|----|
| | | | | Totale | | Érable à sucre ¹ | | Bouleau jaune ¹ | | Hêtre ¹ | | Autres feuillus ² | | Résineux ³ | |
| | | | | Moy. | IC | % | IC | % | IC | % | IC | % | IC | % | IC |
| Er 2a3a R07 | TE | 24 | AVC | 29,4 | 1,9 | 57 | 12 | 5 | 3 | 18 | 10 | 16 | 10 | 4 | 4 |
| | | | 10 ans | 30,4 | 1,9 | 57 | 12 | 5 | 3 | 19 | 10 | 15 | 10 | 4 | 4 |
| | TR | 31 | AVC | 28,5 | 1,6 | 53 | 8 | 8 | 4 | 20 | 8 | 14 | 5 | 5 | 2 |
| | | | APC | 19,4 | 1,5 | 54 | 8 | 8 | 4 | 21 | 8 | 13 | 6 | 4 | 2 |
| | | | 10 ans | 21,6 | 2,0 | 52 | 9 | 8 | 4 | 22 | 8 | 14 | 6 | 4 | 2 |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| Er 3a R08 | TE | 42 | AVC | 26,5 | 2,2 | 61 | 8 | 15 | 6 | 11 | 7 | 7 | 3 | 7 | 4 |
| | | | 10 ans | 24,1 | 2,9 | 58 | 8 | 14 | 5 | 13 ↑ | 7 | 7 | 3 | 8 | 5 |
| | TR | 50 | AVC | 26,3 | 1,5 | 63 | 5 | 14 | 4 | 7 | 3 | 9 | 3 | 7 | 3 |
| | | | APC | 17,7 | 1,0 | 61 | 5 | 14 | 4 | 8 | 4 | 9 | 3 | 8 | 3 |
| | | | 10 ans | 18,0 | 1,3 | 60 | 6 | 14 | 4 | 10 ↑ | 5 | 8 | 2 | 8 | 3 |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| Er 3b | TE | 33 | AVC | 30,1 | 2,1 | 59 | 9 | 10 | 5 | 17 | 7 | 8 | 5 | 6 | 4 |
| | | | 10 ans | 29,2 | 2,1 | 59 | 9 | 10 | 5 | 19 | 7 | 6 | 5 | 6 | 4 |
| | TR | 35 | AVC | 30,4 | 2,1 | 62 | 8 | 10 | 4 | 17 | 6 | 7 | 4 | 5 | 3 |
| | | | APC | 19,7 | 1,7 | 60 | 8 | 10 | 4 | 18 | 6 | 6 | 4 | 6 | 3 |
| | | | 10 ans | 21,4 | 1,4 | 60 | 7 | 10 | 4 | 19 | 6 | 6 | 3 | 5 | 3 |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| Er 3c | TE | 32 | AVC | 30,2 | 1,8 | 65 | 9 | 14 | 6 | 13 | 5 | 6 | 5 | 3 | 2 |
| | | | 10 ans | 29,8 | 1,9 | 65 | 10 | 14 | 6 | 15 | 7 | 4 | 4 | 2 | 2 |
| | TR | 36 | AVC | 28,1 | 1,5 | 64 | 8 | 13 | 5 | 13 | 5 | 6 | 3 | 4 | 2 |
| | | | APC | 19,3 | 1,3 | 65 | 8 | 13 | 5 | 13 | 5 | 6 | 3 | 3 | 2 |
| | | | 10 ans | 21,6 | 1,5 | 65 | 8 | 13 | 5 | 13 | 5 | 5 | 3 | 4 | 3 |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| Er 3d | TE | 7 | AVC | 35,4 | 5,5 | 88 | 18 | 1 | 2 | 8 | 12 | 3 | 5 | 0 | 0 |
| | | | 10 ans | 35,4 | 6,3 | 90 | 16 | 1 | 2 | 6 | 10 | 2 | 5 | 0 | 0 |
| | TR | 7 | AVC | 29,8 | 1,9 | 76 | 9 | 14 | 8 | 3 | 3 | 5 | 3 | 2 | 3 |
| | | | APC | 22,4 | 2,8 | 80 | 9 | 13 | 8 | 2 | 3 | 4 | 3 | 1 | 3 |
| | | | 10 ans | 25,7 | 3,3 | 83 | 9 | 11 | 10 | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| Er 4bc | TE | 21 | AVC | 27,6 | 3,3 | 67 | 11 | 27 | 10 | 1 | 1 | 4 | 3 | 2 | 2 |
| | | | 10 ans | 29,8 | 3,1 | 67 | 11 | 25 | 10 | 1 | 1 | 4 | 4 | 4 | 3 |
| | TR | 22 | AVC | 25,3 | 2,3 | 60 | 9 | 27 | 8 | 2 | 3 | 5 | 3 | 6 | 4 |
| | | | APC | 16,6 | 1,5 | 65 | 9 | 23 | 8 | 3 | 3 | 4 | 3 | 5 | 4 |
| | | | 10 ans | 19,4 | 1,7 | 65 | 9 | 23 | 7 | 4 | 6 | 4 | 2 | 5 | 4 |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| Er 4fgh | TE | 22 | AVC | 31,2 | 2,9 | 83 | 7 | 7 | 4 | 2 | 3 | 1 | 2 | 7 | 4 |
| | | | 10 ans | 34,6 | 3,0 | 86 ↑ | 6 | 7 | 4 | 1 | 1 | 1 | 2 | 5 | 4 |
| | TR | 22 | AVC | 28,4 | 1,9 | 82 | 7 | 7 | 4 | 2 | 3 | 3 | 2 | 6 | 5 |
| | | | APC | 19,2 | 1,9 | 81 | 7 | 7 | 4 | 2 | 3 | 4 | 2 | 7 | 5 |
| | | | 10 ans | 23,4 | 2,1 | 85 ↑ | 7 | 6 | 4 | 1 | 1 | 3 | 2 | 5 | 5 |
| | | | | | | | | | | | | | | | |

Tableau 2 (suite et fin).

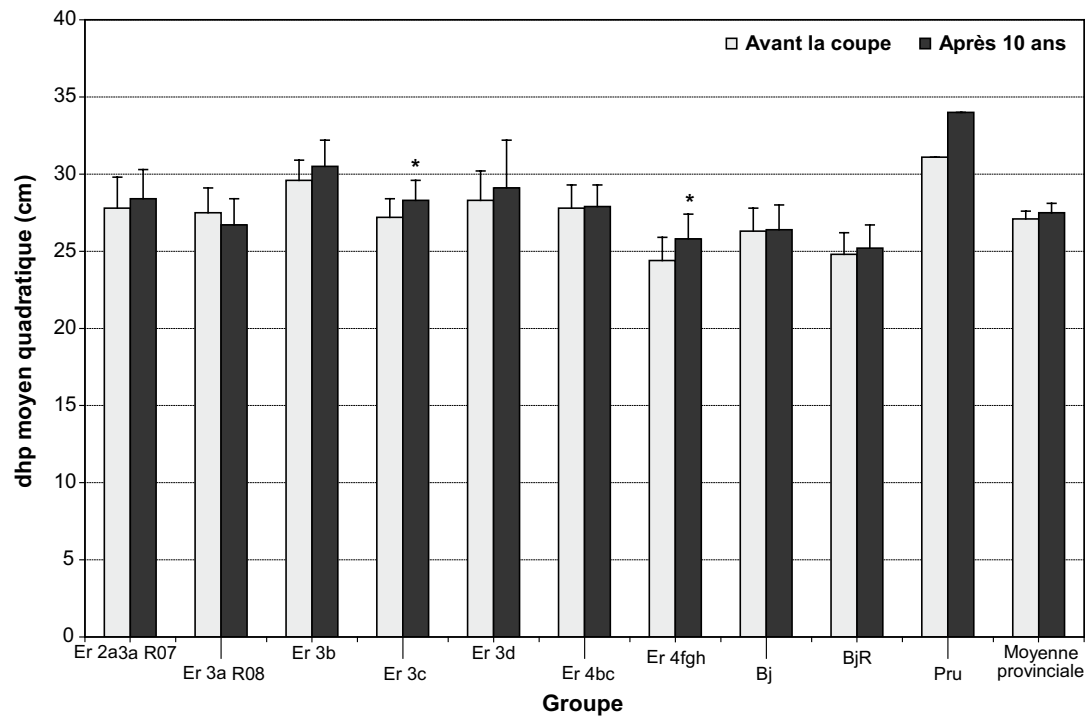
| Groupe | Traitement | Nombre d'unités expérimentales | Période | Surface terrière marchande (m ² ·ha ⁻¹) | | | | | | | | | | | |
|----------|------------|--------------------------------|---------|--|------|-----------------------------|----|----------------------------|----|--------------------|----|------------------------------|----|-----------------------|----|
| | | | | Totale | | Érable à sucre ¹ | | Bouleau jaune ¹ | | Hêtre ¹ | | Autres feuillus ² | | Résineux ³ | |
| | | | | Moy. | IC | % | IC | % | IC | % | IC | % | IC | % | IC |
| Bj | TE | 35 | AVC | 24,7 | 1,8 | 8 | 4 | 68 | 7 | 0 | 0 | 11 | 4 | 13 | 4 |
| | | | 10 ans | 27,2 | 1,6 | 9 | 4 | 66 | 7 | 0 | 0 | 10 | 4 | 15 | 4 |
| | TR | 35 | AVC | 27,0 | 2,0 | 13 | 5 | 61 | 6 | 1 | 1 | 14 | 5 | 12 | 3 |
| | | | APC | 18,3 | 1,7 | 14 | 5 | 60 | 6 | 0 | 0 | 13 | 5 | 13 | 3 |
| | | | 10 ans | 21,2 | 1,7 | 15 | 6 | 57 | 7 | 1 | 1 | 13 | 4 | 15 | 3 |
| | | | 10 ans | 21,2 | 1,7 | 15 | 6 | 57 | 7 | 1 | 1 | 13 | 4 | 15 | 3 |
| BjR | TE | 32 | AVC | 26,9 | 2,3 | 7 | 4 | 44 | 7 | 1 | 1 | 12 | 4 | 36 | 7 |
| | | | 10 ans | 28,2 | 2,1 | 7 | 4 | 43 | 7 | 1 | 2 | 12 | 4 | 37 | 8 |
| | TR | 35 | AVC | 28,2 | 2,1 | 5 | 2 | 47 | 6 | 0 | 0 | 11 | 4 | 37 | 4 |
| | | | APC | 20,1 | 2,1 | 6 | 2 | 50 | 6 | 0 | 0 | 12 | 4 | 31 ↓ | 4 |
| | | | 10 ans | 22,5 | 2,0 | 6 | 3 | 49 | 7 | 0 | 0 | 12 | 4 | 32 | 5 |
| | | | 10 ans | 22,5 | 2,0 | 6 | 3 | 49 | 7 | 0 | 0 | 12 | 4 | 32 | 5 |
| Pru | TE | 3 | AVC | 38,3 | 18,9 | 16 | 37 | 6 | 14 | 0 | 0 | 5 | 19 | 73 | 41 |
| | | | 10 ans | 43,2 | 19,8 | 15 | 34 | 6 | 14 | 0 | 0 | 5 | 21 | 74 | 41 |
| | TR | 4 | AVC | 38,0 | 3,3 | 12 | 17 | 21 | 25 | 5 | 9 | 6 | 10 | 57 | 19 |
| | | | APC | 28,1 | 3,6 | 10 | 17 | 21 | 25 | 5 | 9 | 4 | 10 | 59 | 19 |
| | | | 10 ans | 33,0 | 3,7 | 9 | 15 | 20 | 18 | 5 | 10 | 5 | 7 | 61 | 19 |
| | | | 10 ans | 33,0 | 3,7 | 9 | 15 | 20 | 18 | 5 | 10 | 5 | 7 | 61 | 19 |
| Province | TE | 251 | AVC | 28,4 | 0,8 | 49 | 4 | 24 | 3 | 8 | 2 | 8 | 2 | 11 | 2 |
| | | | 10 ans | 29,0 | 0,9 | 49 | 4 | 23 ↓ | 3 | 9 | 2 | 8 ↓ | 2 | 11 | 2 |
| | TR | 277 | AVC | 28,0 | 0,6 | 49 | 4 | 23 | 3 | 8 | 2 | 9 | 1 | 11 | 2 |
| | | | APC | 19,0 | 0,5 | 49 | 4 | 23 | 3 | 8 | 2 | 9 | 1 | 11 | 2 |
| | | | 10 ans | 21,2 | 0,6 | 50 | 4 | 23 ↓ | 3 | 9 | 2 | 8 ↓ | 1 | 11 | 2 |
| | | | 10 ans | 21,2 | 0,6 | 50 | 4 | 23 ↓ | 3 | 9 | 2 | 8 ↓ | 1 | 11 | 2 |

¹ **Essences** : érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh.), bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britton.), hêtre à grandes feuilles (*Fagus grandifolia* Ehrh.).

² **Autres feuillus** : érable rouge (*A. rubrum* L.), chêne rouge (*Quercus rubra* L.), bouleau à papier (*B. papyrifera* Marsh.), cerisier tardif (*Prunus serotina* Ehrh.), peupliers (*Populus* spp.), frêne d'Amérique (*Fraxinus americana* L.), frêne noir (*F. nigra* Marsh.), noyer cendré (*Juglans cinerea* L.), orme d'Amérique (*Ulmus americana* L.), ostryer de Virginie (*Ostrya virginiana* [Mill.] K. Koch), tilleul d'Amérique (*Tilia americana* L.) et caryer cordiforme (*Carya cordiformis* [Wangenh.] K. Koch).

³ **Résineux** : sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill.), épinette blanche (*Picea glauca* [Moench] Voss), épinette rouge (*P. rubens* Sarg.), épinette noire (*P. mariana* [Mill.] B.S.P.), pin blanc (*Pinus strobus* L.), pin rouge (*Pinus resinosa* Ait.), pruche du Canada (*Tsuga canadensis* [L.] Carr.) et thuya occidental (*Thuja occidentalis* L.).

a) Unités témoins



b) Unités traitées

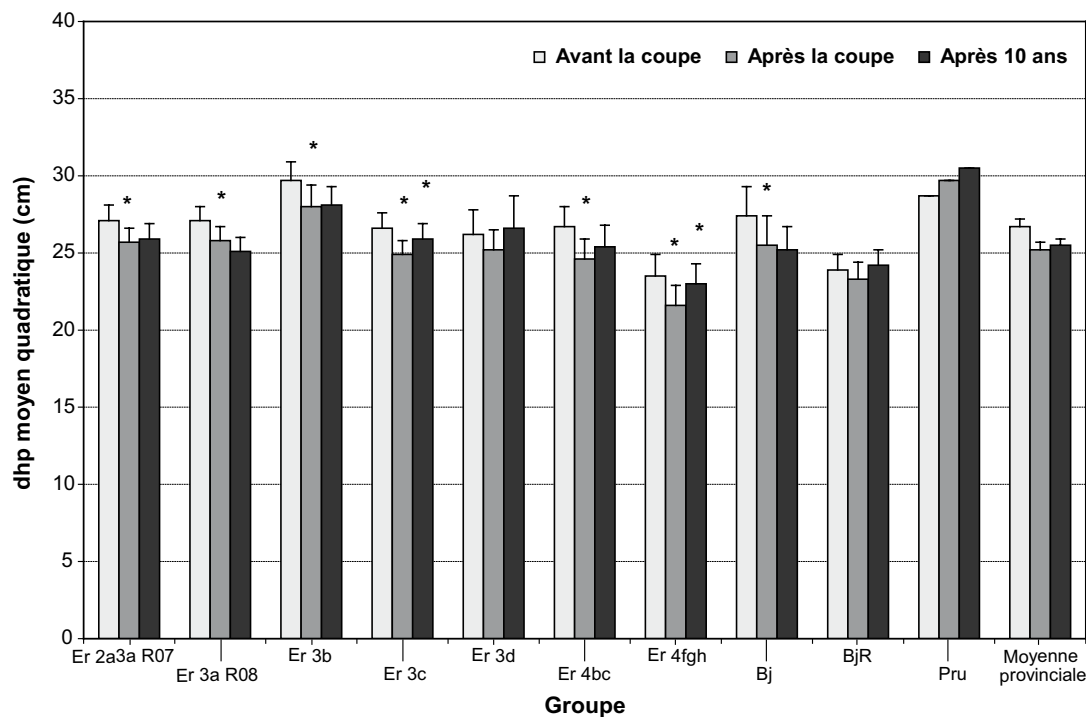
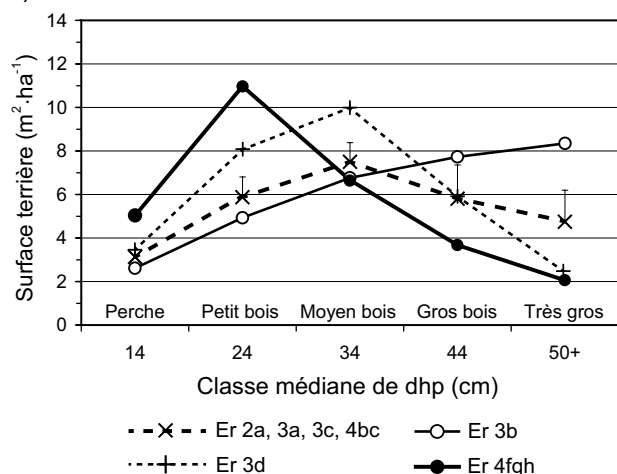


Figure 3. Dhp moyen quadratique selon le groupe, a) avant la coupe et 10 ans plus tard dans les peuplements témoins, et b) avant la coupe, après la coupe et 10 ans plus tard dans les peuplements traités. Les codes de groupe de peuplements sont définis au tableau 1. Au sein de chaque groupe, les astérisques (*) indiquent les différences statistiquement significatives avec la période précédente. Les barres d'erreur correspondent à la demi-amplitude de l'intervalle de confiance à 95 % de la moyenne. À noter que le groupe des prucheraies (Pru) est présenté à titre indicatif seulement et sans barres d'erreur, car il n'a pas été inclus dans l'analyse statistique en raison du nombre insuffisant de placettes.

a) Érablières



b) Autres groupes

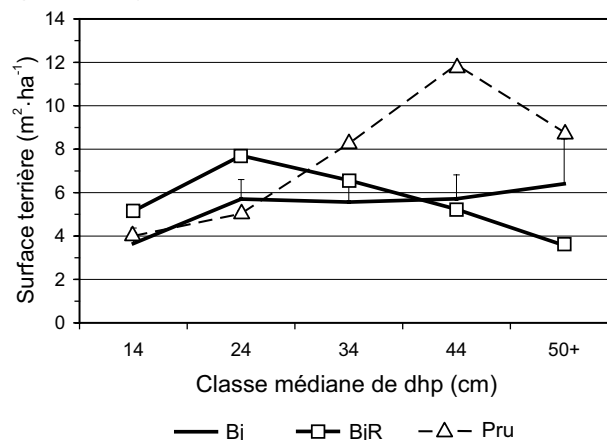


Figure 4. Répartition par classe de dhp (cm) de la surface terrière marchande ($m^2 \cdot ha^{-1}$) des groupes de peuplements avant la coupe, pour a) les érablières et b) les autres groupes. L'intervalle supérieur de confiance à 95 % (barres verticales) est montré pour les Er 2a3a et les Bj à titre indicatif de la variation observée dans la plupart des groupes. Les codes de groupe de peuplements sont définis au tableau 1.

2.2 Portrait après la coupe

Le prélèvement n'a généralement pas modifié significativement la composition en essences des peuplements. La seule différence significative ($p < 0,0001$) a été observée dans les BjR, où la proportion des résineux est passée de 37 à 31 % à la suite de la coupe (Tableau 2).

À l'échelle du Québec, le prélèvement moyen a été de $9,0 m^2 \cdot ha^{-1}$ et variait de $7,4$ à $10,7 m^2 \cdot ha^{-1}$ selon le groupe (Figure 5). Converti en valeurs relatives, le prélèvement moyen a été de 32 % (25 à 35 % selon le groupe). Le plus faible prélèvement a été observé dans les Er 3d et le plus fort, dans les Er 3b. La surface terrière résiduelle après la coupe était en moyenne de $19 m^2 \cdot ha^{-1}$. Cependant, elle était beaucoup plus grande dans les Pru ($28,1 m^2 \cdot ha^{-1}$) et les Er 3d ($22,4 m^2 \cdot ha^{-1}$), que dans les Er 4bc ($16,6 m^2 \cdot ha^{-1}$).

Le prélèvement a été effectué dans toutes les classes de diamètre, mais généralement avec une plus faible proportion de surface terrière dans celle des perches (Figure 6). Par conséquent, des changements de structure se sont manifestés par les diminutions significatives ($p < 0,05$) du dhp moyen quadratique dans la plupart des groupes d'érablières (Er 2a3a R07, Er 3a R08, Er 3b, Er 3c, Er 4bc et Er 4fgh), de même que dans les Bj (Figure 3b). Ces diminutions sont perceptibles par la présence d'un écart plus grand entre les courbes de surface terrière avant et après la coupe, pour les classes supérieures de dhp dans les groupes concernés (Figures 6a, 6b, 6c, 6d, 6f, 6g et 6h, respectivement). L'absence de

différence significative dans les Er 3d (Figure 6e) serait surtout attribuable au faible échantillonnage (≤ 8). La coupe n'a pas modifié significativement le dhp moyen des BjR ($p = 0,3787$) et des Pru (aucun test statistique); leurs structures diamétrales sont demeurées sensiblement les mêmes (Figures 3, 6i et 6j).

Selon le groupe, la coupe a réduit le CFC de 16 à 29 %. À l'échelle provinciale, le CFC moyen est passé de $12,1$ à $9,2 m^2 \cdot ha^{-1}$ (Figure 7b). Cela représente une réduction de 24 %, ce qui est légèrement plus faible que le taux de prélèvement moyen de 32 % de la surface terrière. Les plus grandes valeurs de CFC après la coupe ont été observées dans les groupes comprenant initialement un CFC important, soit les Pru ($17,4 m^2 \cdot ha^{-1}$ après la coupe), les Er 4fgh ($13,7 m^2 \cdot ha^{-1}$) et 3d ($11,3 m^2 \cdot ha^{-1}$), les BjR ($10,3 m^2 \cdot ha^{-1}$), de même que les Er 3a R08 ($9,5 m^2 \cdot ha^{-1}$).

Malgré le prélèvement important du CFC, lequel comprend surtout les arbres des classes de vigueur 1 et 5, la proportion moyenne de la surface terrière des arbres de cette classe (1+5) est passée de 46 % avant la coupe à 51 % après la coupe (Tableau 3), ce qui correspond à une différence de 5 % à l'échelle provinciale. Cependant, les gains significatifs ($p < 0,0156$) d'arbres de la classe 1 ont été observés seulement dans les Er 3a R08 (5 %), Er 3c (6 %), Er 4fgh (12 %) et Er 4bc (7 %). Par conséquent, l'hypothèse d'une augmentation de la proportion d'arbres de qualité (classe 1 principalement) suite au traitement est acceptée seulement dans ces quatre groupes.

Tableau 3. Répartition de la surface terrière marchande par classe de vigueur et demi-amplitude de l'intervalle de confiance à 95 % (IC) selon le groupe, le traitement (TE : témoin, TR : traité) et la période (AVC : avant la coupe, APC : après la coupe, 10 ans : après 10 ans). Les différences significatives dans les mesures d'une période, comparativement aux mesures de la période précédente, sont montrées par une flèche [↓ ou ↑] indiquant leur sens. Les codes de groupe de peuplements sont définis au tableau 1.

| Groupe | Traitement | Nombre d'unités expérimentales | Période | Surface terrière (m ² ·ha ⁻¹) | Répartition par classe de vigueur | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|------------|--------------------------------|---------|--|------------------------------------|----------------------------|----------------------|-------------------------|--------------------------------------|------------|----|-----|-------------|---|----|---|----|----|
| | | | | | Classes 1 à 4 : Essences feuillues | | | | Classes 5 et 6 : Essences résineuses | | | | Classes 1+5 | | | | | |
| | | | | | 1 : Qualité + vigoureux | 2 : Défectueux + vigoureux | 3 : Qualité + faible | 4 : Défectueux + faible | 5 : Vigoureux | 6 : Faible | IC | % | IC | % | IC | % | IC | % |
| Er 2a3a R07 | TE | 24 | AVC | 29,4 | 1,9 | 35 | 6 | 9 | 4 | 24 | 7 | 28 | 6 | 2 | 2 | 2 | 3 | 38 |
| | | | 10 ans | 30,4 | 1,9 | 36 | 5 | 6↓ | 3 | 36↑ | 6 | 19↓ | 5 | 2 | 2 | 2 | 3 | 37 |
| | TR | 31 | AVC | 28,5 | 1,6 | 32 | 5 | 9 | 2 | 24 | 4 | 30 | 5 | 3 | 2 | 2 | 2 | 35 |
| | | | APC | 19,4 | 1,5 | 36 | 5 | 9 | 3 | 19 | 4 | 32 | 5 | 2 | 1 | 2 | 1 | 38 |
| | | | 10 ans | 21,6 | 2,0 | 37 | 4 | 6↓ | 2 | 30↑ | 4 | 24↓ | 4 | 2 | 1 | 2 | 1 | 39 |
| Er 3a R08 | TE | 42 | AVC | 26,5 | 2,2 | 43 | 6 | 3 | 2 | 21 | 5 | 26 | 6 | 6 | 4 | 1 | 1 | 49 |
| | | | 10 ans | 24,1 | 2,9 | 42↓ | 6 | 1↓ | 1 | 28↑ | 6 | 20 | 4 | 5 | 3 | 3 | 3 | 47 |
| | TR | 50 | AVC | 26,3 | 1,5 | 45 | 4 | 2 | 1 | 27 | 3 | 19 | 3 | 6 | 2 | 1 | 1 | 51 |
| | | | APC | 17,7 | 1,0 | 50↑ | 4 | 2 | 1 | 21 | 3 | 19 | 3 | 7 | 3 | 1 | 1 | 56 |
| | | | 10 ans | 18,0 | 1,3 | 41↓ | 3 | 1↓ | 0 | 31↑ | 4 | 19 | 2 | 6 | 2 | 2 | 1 | 47 |
| Er 3b | TE | 33 | AVC | 30,1 | 2,1 | 37 | 6 | 5 | 2 | 30 | 6 | 22 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 | 42 |
| | | | 10 ans | 29,2 | 2,1 | 39 | 6 | 4↓ | 2 | 35↑ | 6 | 17↓ | 5 | 2 | 2 | 3 | 3 | 41 |
| | TR | 35 | AVC | 30,4 | 2,1 | 36 | 4 | 4 | 2 | 35 | 5 | 20 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 39 |
| | | | APC | 19,7 | 1,7 | 40 | 5 | 5 | 2 | 29 | 4 | 21 | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 | 43 |
| | | | 10 ans | 21,4 | 1,4 | 41 | 5 | 3↓ | 1 | 36↑ | 5 | 15↓ | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 44 |
| Er 3c | TE | 32 | AVC | 30,2 | 1,8 | 51 | 6 | 2 | 1 | 22 | 4 | 21 | 6 | 1 | 1 | 2 | 2 | 52 |
| | | | 10 ans | 29,8 | 1,9 | 48 | 7 | 3 | 2 | 31↑ | 6 | 16↓ | 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 49 |
| | TR | 36 | AVC | 28,1 | 1,5 | 42 | 5 | 3 | 1 | 27 | 5 | 24 | 4 | 2 | 2 | 2 | 1 | 45 |
| | | | APC | 19,3 | 1,3 | 48↑ | 5 | 3 | 1 | 21 | 4 | 24 | 4 | 2 | 2 | 1 | 1 | 51 |
| | | | 10 ans | 21,6 | 1,5 | 47 | 5 | 3 | 1 | 28↑ | 4 | 19↓ | 3 | 2 | 2 | 1 | 1 | 49 |
| Er 3d | TE | 7 | AVC | 35,4 | 5,5 | 44 | 10 | 13 | 7 | 25 | 14 | 18 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 44 |
| | | | 10 ans | 35,4 | 6,3 | 59 | 8 | 5↓ | 4 | 21 | 7 | 15 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 59 |
| | TR | 7 | AVC | 29,8 | 1,9 | 46 | 12 | 8 | 6 | 25 | 10 | 19 | 9 | 1 | 1 | 1 | 2 | 47 |
| | | | APC | 22,4 | 2,8 | 51 | 12 | 8 | 6 | 20 | 11 | 19 | 7 | 0 | 1 | 1 | 2 | 52 |
| | | | 10 ans | 25,7 | 3,3 | 54 | 6 | 4↓ | 3 | 25 | 7 | 15 | 8 | 1 | 2 | 0 | 0 | 56 |
| Er 4bc | TE | 21 | AVC | 27,6 | 3,3 | 33 | 8 | 5 | 2 | 33 | 7 | 26 | 9 | 2 | 2 | 0 | 1 | 35 |
| | | | 10 ans | 29,8 | 3,1 | 38 | 8 | 3↓ | 2 | 35 | 8 | 21↓ | 8 | 3 | 3 | 1 | 1 | 41 |
| | TR | 22 | AVC | 25,3 | 2,3 | 34 | 6 | 5 | 2 | 28 | 4 | 28 | 6 | 3 | 2 | 2 | 2 | 37 |
| | | | APC | 16,6 | 1,5 | 41↑ | 7 | 5 | 3 | 19 | 4 | 30 | 6 | 3 | 3 | 1 | 1 | 45 |
| | | | 10 ans | 19,4 | 1,7 | 45 | 7 | 3↓ | 2 | 25 | 5 | 21↓ | 6 | 4 | 3 | 2 | 2 | 49 |

Tableau 3. (Suite et fin)

| Groupe | Traitement | Nombre d'unités expérimentales | Période | Surface terrière (m ² .ha ⁻¹) | Répartition par classe de vigueur | | | | | | | | | | | | |
|----------|------------|--------------------------------|---------|--|------------------------------------|----------------------------|----------------------|-------------------------|--------------------------------------|------------|-----|----|-------------|-----|----|----|----|
| | | | | | Classes 1 à 4 : Essences feuillues | | | | Classes 5 et 6 : Essences résineuses | | | | Classes 1+5 | | | | |
| | | | | | 1 : Qualité + vigoureux | 2 : Défectueux + vigoureux | 3 : Qualité + faible | 4 : Défectueux + faible | 5 : Vigoureux | 6 : Faible | IC | % | IC | % | IC | % | |
| Moy. | IC | % | IC | % | IC | % | IC | % | IC | % | IC | % | | | | | |
| Er 4fgh | TE | 22 | AVC | 31,2 | 2,9 | 55 | 8 | 4 | 18 | 6 | 15 | 6 | 3 | 3 | 4 | 3 | 58 |
| | | | 10 ans | 34,6 | 3,0 | 56 | 8 | 2↓ | 25 | 7 | 12 | 6 | 2 | 2 | 3 | 2 | 58 |
| | TR | 22 | AVC | 28,4 | 1,9 | 57 | 9 | 5 | 3 | 16 | 6 | 17 | 6 | 4 | 3 | 3 | 60 |
| | | | APC | 19,2 | 1,9 | 68↑ | 9 | 5 | 4 | 8 | 12↓ | 5 | 4 | 3 | 3 | 3 | 72 |
| | | | 10 ans | 23,4 | 2,1 | 73 | 7 | 1↓ | 10 | 4 | 11 | 4 | 2 | 3 | 3 | 3 | 75 |
| Bj | TE | 35 | AVC | 24,7 | 1,8 | 48 | 6 | 5 | 2 | 17 | 5 | 18 | 5 | 10 | 4 | 3 | 57 |
| | | | 10 ans | 27,2 | 1,6 | 47 | 6 | 3↓ | 1 | 21↑ | 5 | 15 | 4 | 9 | 3 | 5 | 56 |
| | TR | 35 | AVC | 27,0 | 2,0 | 37 | 5 | 4 | 1 | 22 | 4 | 25 | 5 | 8 | 2 | 4 | 45 |
| | | | APC | 18,3 | 1,7 | 40 | 6 | 5 | 2 | 15 | 4 | 27 | 6 | 8 | 3 | 4 | 48 |
| | | | 10 ans | 21,2 | 1,7 | 40 | 5 | 2↓ | 1 | 21↑ | 5 | 23 | 5 | 10 | 3 | 4 | 50 |
| BJR | TE | 32 | AVC | 26,9 | 2,3 | 30 | 6 | 2 | 1 | 18 | 6 | 14 | 4 | 22 | 5 | 14 | 52 |
| | | | 10 ans | 28,2 | 2,1 | 29 | 6 | 0 | 0 | 20 | 6 | 14 | 4 | 21 | 5 | 16 | 50 |
| | TR | 25 | AVC | 28,2 | 2,1 | 30 | 4 | 3 | 1 | 16 | 3 | 14 | 3 | 23 | 4 | 14 | 53 |
| | | | APC | 20,1 | 2,1 | 32 | 5 | 4 | 2 | 16 | 4 | 18 | 3 | 20↓ | 4 | 11 | 52 |
| | | | 10 ans | 22,5 | 2,0 | 34 | 4 | 3 | 2 | 17 | 4 | 14 | 3 | 20 | 4 | 13 | 53 |
| Ptu | TE | 3 | AVC | 38,3 | 18,9 | 8 | 10 | 1 | 6 | 17 | 31 | 1 | 4 | 69 | 55 | 4 | 76 |
| | | | 10 ans | 43,2 | 19,8 | 6 | 16 | 1 | 6 | 14 | 14 | 5 | 16 | 31 | 26 | 42 | 37 |
| | TR | 4 | AVC | 38,0 | 3,3 | 16 | 9 | 2 | 3 | 18 | 20 | 7 | 8 | 49 | 32 | 8 | 65 |
| | | | APC | 28,1 | 3,6 | 19 | 16 | 2 | 4 | 12 | 15 | 7 | 10 | 43 | 32 | 16 | 63 |
| | | | 10 ans | 33,0 | 3,7 | 20 | 14 | 2 | 3 | 10 | 10 | 7 | 6 | 36 | 30 | 25 | 56 |
| Province | TE | 251 | AVC | 28,4 | 0,8 | 41 | 2 | 4 | 1 | 22 | 2 | 21 | 2 | 7 | 2 | 3 | 49 |
| | | | 10 ans | 29,0 | 0,9 | 42 | 2 | 3 | 1 | 28 | 2 | 17 | 2 | 6 | 1 | 5 | 48 |
| | TR | 277 | AVC | 28,0 | 0,6 | 39 | 2 | 4 | 1 | 25 | 2 | 21 | 2 | 7 | 1 | 4 | 46 |
| | | | APC | 19,0 | 0,5 | 44 | 2 | 5↑ | 1 | 19↓ | 1 | 22 | 2 | 7 | 1 | 3 | 51 |
| | | | 10 ans | 21,2 | 0,6 | 43 | 2 | 3 | 0 | 26 | 2 | 18 | 1 | 7 | 1 | 4 | 50 |

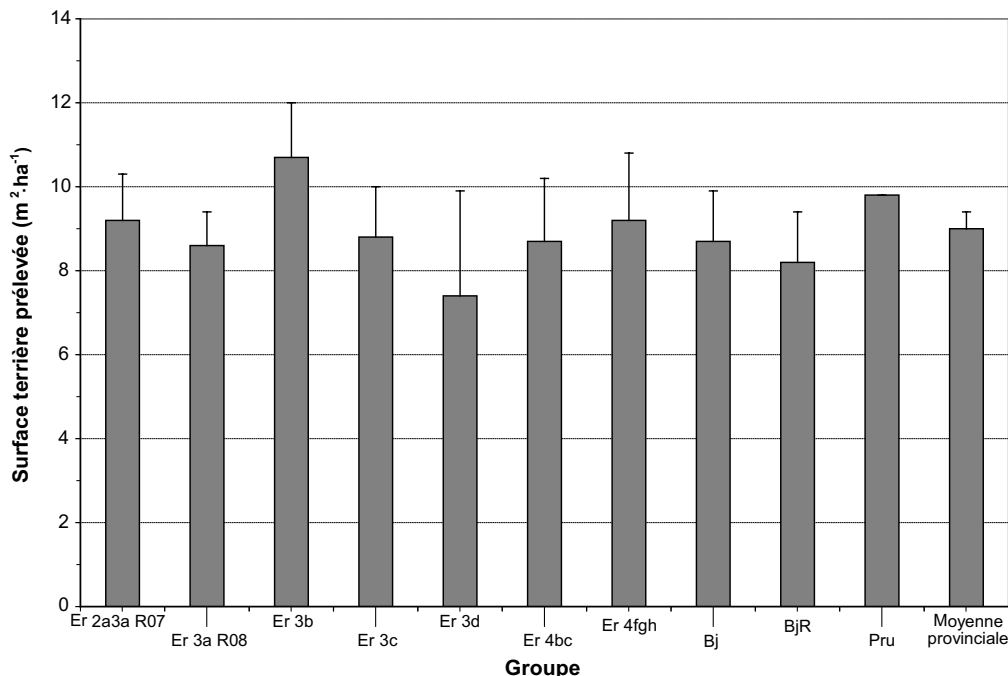


Figure 5. Prélèvement moyen en surface terrière ($\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$), selon le groupe, dans les unités traitées. Les codes de groupe de peuplements sont définis au tableau 1. Les barres d'erreur correspondent à la demi-amplitude de l'intervalle de confiance à 95 % de la moyenne. À noter que le groupe des prucheraies (Pru) est présenté à titre indicatif seulement et sans barres d'erreur, car il n'a pas été inclus dans l'analyse statistique en raison du nombre insuffisant de placettes.

Il y a une légère augmentation significative (1 %, $p = 0,0310$) de la proportion d'arbres de vigueur 2 (Tableau 3). Tous groupes confondus, la proportion d'arbres de la classe de vigueur 3 a été significativement réduite de 25 à 19 % ($p < 0,0001$; Tableau 3). Le seul changement significatif de la proportion d'arbres de la classe de vigueur 4 ($p = 0,0446$) est survenu dans les Er 4fgh, avec une diminution de 5 %. La réduction de la proportion des résineux dans les BjR a diminué la proportion des arbres des classes de vigueur 5 et 6 dans ce groupe (de 23 à 20 %), mais la différence était significative pour la classe 5 seulement ($p < 0,0001$).

2.3 Portrait des secteurs après 10 ans

Une décennie après la réalisation du traitement de coupe de jardinage, la composition en essences des peuplements a peu changé (Tableau 2); qui plus est, les rares changements significatifs observés se trouvent autant dans les peuplements témoins que traités. Ainsi, la proportion d'érable à sucre a connu une augmentation significative ($p = 0,0059$) de près de 4 % dans les Er 4fgh et ce, autant dans les peuplements témoins (de 83 à 86 %) que dans ceux traités (de 81 à 85 %, Tableau 2). Il en est de même dans les Er 3a R08, où la proportion de hêtre a augmenté ($p < 0,0001$) d'environ 2 % (de

11 à 13 % dans les peuplements témoins et de 8 à 10 % dans les peuplements traités). La proportion des autres essences feuillues a diminué significativement ($p = 0,0052$) de 0,6 % à l'échelle provinciale, atteignant ainsi 8 %. Après 10 ans, la proportion des essences résineuses dans les BjR a significativement diminué ($p < 0,0001$) dans les peuplements traités, mais pas dans les témoins. Dans ce cas, il s'agit de l'effet qui avait été observé à la suite du traitement et qui se maintient jusqu'à 10 ans après la coupe.

En ce qui a trait au dhp moyen quadratique (Figure 3b), les seuls gains significatifs ($p = 0,0155$ et $p = 0,0066$, respectivement) ont été observés dans les Er 3c (de l'ordre de 1 cm de plus qu'après coupe) et Er 4fgh (de l'ordre de 1,4 cm). Ces changements confirment, pour ces peuplements, le déplacement de la distribution de la surface terrière vers des classes supérieures de dhp (Figures 6d et 6g). Le dhp moyen et la structure des autres groupes ont peu changé au cours des dix années qui ont suivi la coupe. D'ailleurs, dans les sept groupes où des différences de dhp moyen quadratique avaient été détectées après la coupe (c'est-à-dire tous sauf les BjR et les Er 3d), le dhp moyen 10 ans après la coupe demeure encore significativement différent ($p < 0,0029$) de celui des peuplements témoins.

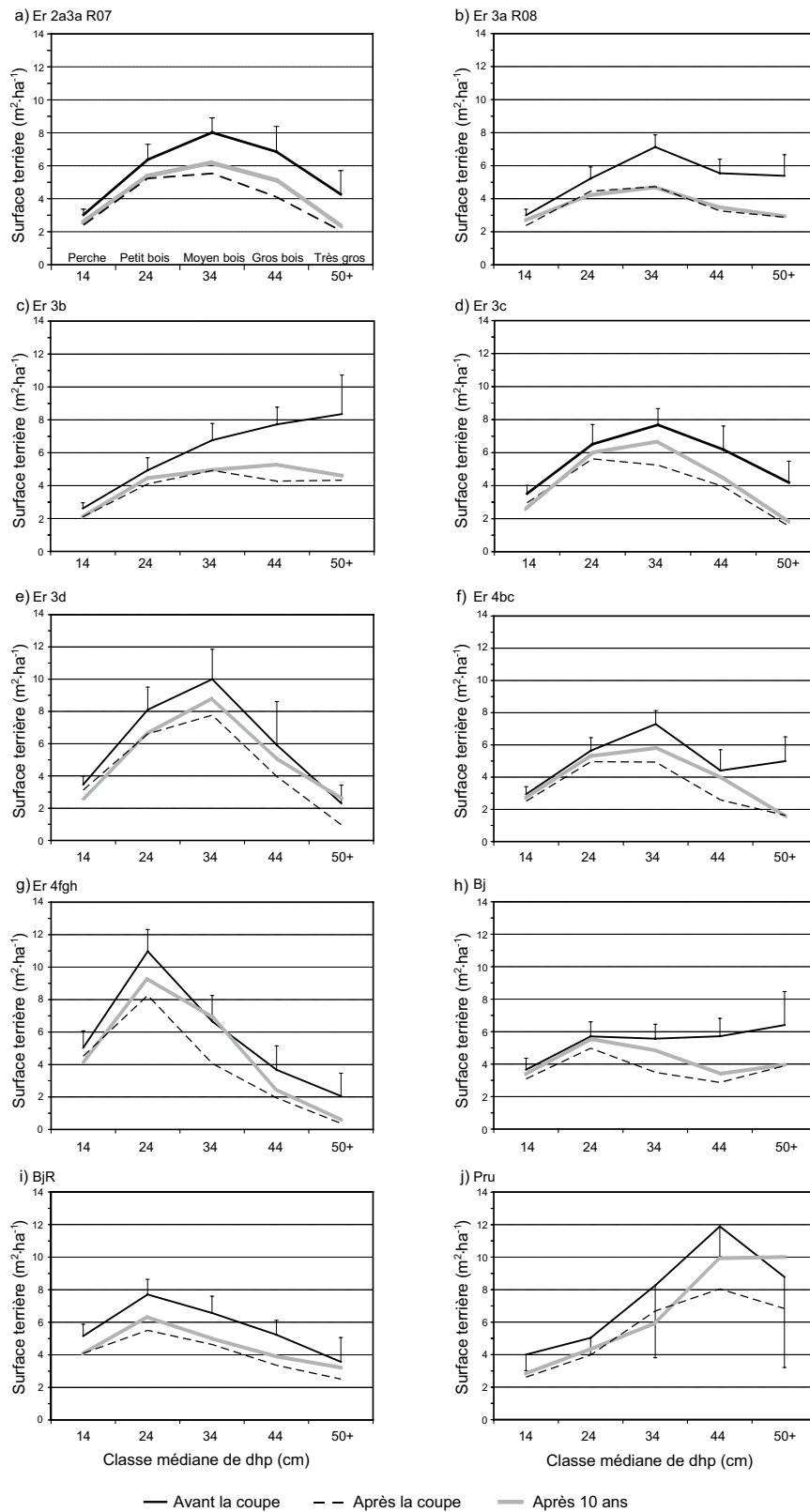
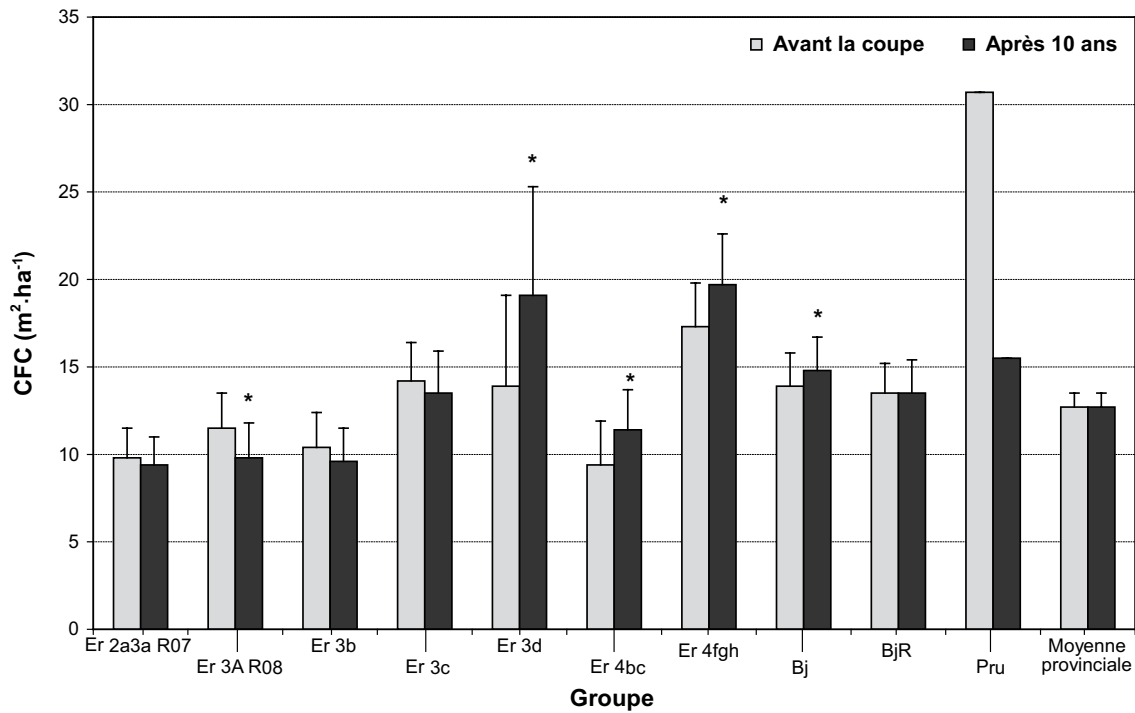


Figure 6. Répartition par classe de dhp (cm) de la surface terrière marchande (m²·ha⁻¹) de chacun des groupes avant la coupe (ligne pleine), après la coupe (ligne pointillée) et après 10 ans (ligne grisée). Un des intervalles de confiance à 95 % est montré pour chacun des groupes à titre indicatif de la variation observée à chaque période dans le groupe. Les codes de groupe de peuplements sont définis au tableau 1.

a) Unités témoins



b) Unités traitées

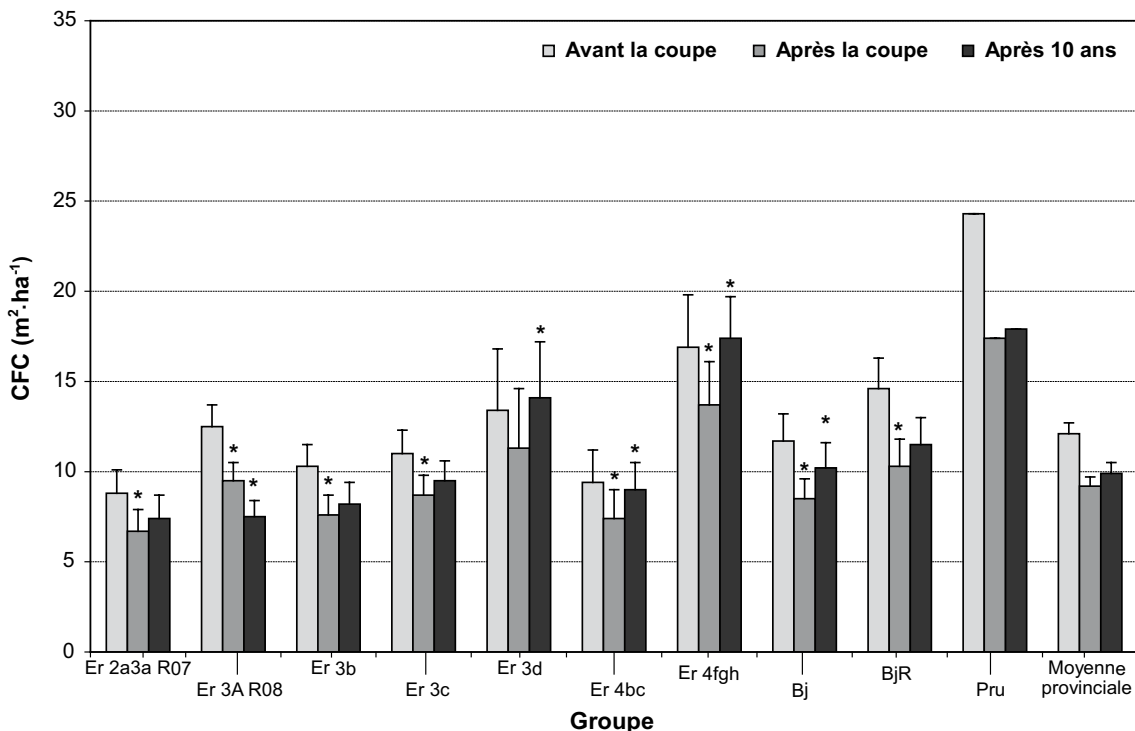


Figure 7. Capital forestier en croissance (CFC, m²·ha⁻¹) selon le groupe et la période, pour a) les unités expérimentales témoins et b) les unités expérimentales traitées. Les codes de groupe de peuplements sont définis au tableau 1. Les barres d'erreur correspondent à la demi-amplitude de l'intervalle de confiance à 95 % de la moyenne. À noter que le groupe des prucheraies (Pru) est présenté à titre indicatif seulement et sans barres d'erreur, car il n'a pas été inclus dans l'analyse statistique en raison du nombre insuffisant de placettes.

En 10 ans, la répartition de la surface terrière par classe de vigueur (Tableau 3) a connu plusieurs changements significatifs, particulièrement pour les classes 3 et 4. Dans les Er 2a3a R07, Er 3a R08, Er 3b et Er 3c, de même que dans les Bj, la proportion d'arbres de la classe de vigueur 3 est passée de 4 à 12 % selon le traitement ($p \leq 0,0403$). Ces gains découlent principalement de diminutions significatives ($p \leq 0,0017$) de la proportion des arbres de la classe de vigueur 4 dans les érablières 2a3a R07, Er 3b, Er 3c et Er 4bc, ainsi que de certaines diminutions des arbres de la classe 2 (Tableau 3). Dans ce dernier cas, des différences significatives ($p \leq 0,0432$) de 1 à 8 % ont été observées dans sept des neuf groupes analysés (Tableau 3). Le seul changement significatif dans la classe 1 ($p = 0,0058$) a été observé dans les Er 3a R08, avec une baisse de 43 à 42 % dans les peuplements témoins et de 50 à 41 % dans les peuplements traités. Il n'y a pas eu de changements significatifs dans la proportion de la surface terrière en arbres des classes de vigueur 5 et 6 au cours de ces dix années.

La figure 7 montre qu'après 10 ans, le CFC a changé significativement ($p \leq 0,0172$) dans cinq groupes et ce, autant pour les peuplements témoins que traités. Le CFC a augmenté dans les Bj et les érablières 3d, 4bc, et 4fgh, mais il a diminué dans les Er 3a R08. À l'échelle provinciale, le CFC est encore significativement plus bas ($p < 0,0001$) dans les peuplements traités ($9,9 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$) que témoins ($12,7 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$). Cependant, la proportion de la surface terrière totale en CFC est assez semblable, avec 44 % dans les peuplements témoins et 47 % dans les peuplements traités.

2.4 Accroissement annuel périodique des peuplements

Des différences significatives dans les composantes de l'accroissement ont été observées entre les traitements, tous groupes confondus, de même qu'entre les groupes, tous traitements confondus. Cependant, il n'y avait pas d'interaction significative entre ces deux variables ($0,2824 \leq p \leq 0,4290$).

2.4.1 Effets des traitements sur l'accroissement décennal

Dans l'ensemble, l'AAN décennal était significativement plus grand ($p < 0,0001$) dans les peuplements traités ($0,22 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$) que dans les peuplements témoins ($0,06 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$, Tableau 4). L'absence d'interaction significative ($p = 0,2930$) indique que

l'effet du traitement a été semblable dans tous les groupes. Une petite partie de cette différence d'AAN est attribuable à un AAB significativement plus grand ($p = 0,0068$) dans les peuplements traités. Puisqu'il n'y a pas de différence significative d'AAV, cette différence d'AAB provient essentiellement d'un recrutement plus important. L'AAN plus grand des peuplements traités serait donc surtout attribuable à une mortalité moins importante ($0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$), par rapport aux peuplements témoins ($0,38 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$, Tableau 4).

2.4.2 Effets des groupes sur l'accroissement décennal

D'une part, les Er 3a R08 se distinguent de tous les autres groupes par leur AAN (TE : $-0,23$ et TR : $0,03 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$) significativement plus faible ($p \leq 0,0332$, Tableau 4). D'autre part, les Er 4fgh (TE : $0,34$ et TR : $0,43 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$) se distinguent significativement de trois autres groupes ($p \leq 0,0379$) par leur fort AAN (Tableau 4), soit les Er 3b (TE : $-0,09$ et TR : $0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$), les Er 3c (TE : $-0,04$ et TR : $0,22 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$) et les BjR (TE : $0,13$ et TR : $0,24 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$). La différence entre les Er 4fgh et les Er 2a3a R07 (TE : $0,10$ et TR : $0,22 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$) est presque significative ($p = 0,0677$). L'hypothèse que l'AAN décennal est suffisant pour reconstituer la surface terrière prélevée ne peut pas être rejetée au seuil d'erreur de 5 % (test unilatéral) pour les Er 3d, Er 4bc, Er 4fgh, Bj et Pru (Tableau 4, valeur supérieure de l'intervalle de confiance \geq valeur seuil). Cependant, pour les quatre autres groupes d'érablières, la limite supérieure de l'intervalle de confiance à 95 % de l'AAN observé sur la période décennale est nettement inférieure au seuil d'AAN à atteindre sur une période de 25 ans. Par conséquent, pour ces quatre groupes d'érablières, la surface terrière prélevée ne pourra donc pas être reconstituée (en moyenne) sur une période d'au plus 25 ans selon les résultats actuels. Quant aux BjR, l'hypothèse de reconstitution est rejetée, mais la valeur seuil recherchée est très près de la limite supérieure de l'intervalle de confiance.

Pour l'AAB, les Er 4fgh, les Bj et les BjR ont un accroissement significativement ($p \leq 0,0379$) supérieur aux Er 3a R08, Er 3b et Er 3c (Tableau 4). Quant à l'AAV, le Tableau 4 montre que les Er 4fgh se démarquent avec un AAV significativement plus grand que la plupart des groupes, sauf celui des Er 3d et des BjR. Ensuite, l'AAV des Er 3a R08 est significativement inférieur à celui de tous les groupes, sauf des érablières 2a3a R07, 3b et 3c.

Tableau 4. Composantes de l'accroissement annuel périodique et demi-amplitude de l'intervalle de confiance à 95 % (IC) selon le groupe et le traitement (TE : témoin; TR : traité) pour les dix premières années après la coupe de jardinage. La limite supérieure de l'intervalle de confiance au seuil de 95 % (IC sup., test unilatéral) de l'AAN est présentée pour les peuplements traités avec le seuil d'AAN nécessaire pour reconstituer la surface terrière prélevée en 25 ans ou moins. Les différences significatives entre les groupes (lettres minuscules), ou entre les traitements du groupe provincial (lettres majuscules), sont montrées par des lettres différentes. Les limites supérieures de l'intervalle de confiance à 95 % de l'AAN qui sont plus grandes que le seuil nécessaire pour reconstituer la surface terrière prélevée sont en caractères gras. Les codes des groupes de peuplements sont définis au tableau 1.

| Groupe | Traite- ment | Nombre d'unités expérimentales | Accroissement annuel périodique net (AAN, m ² ·ha ⁻¹ ·an ⁻¹) | | | Accroissement annuel périodique brut (AAB, m ² ·ha ⁻¹ ·an ⁻¹) | | | Accroissement annuel périodique des arbres vivants (AAV, m ² ·ha ⁻¹ ·an ⁻¹) | | | Accroissement annuel périodique des recrues (AAR, m ² ·ha ⁻¹ ·an ⁻¹) | | | Mortalité annuelle périodique (MAP, m ² ·ha ⁻¹ ·an ⁻¹) | | |
|-------------|-----------------|--------------------------------------|--|------|-------------|--|------|------|--|------|----|---|------|------|--|------|----|
| | | | Moy. | IC | Seuil | Moy. | IC | Moy. | IC | Moy. | IC | Moy. | IC | Moy. | IC | Moy. | IC |
| Er 2a3a R07 | TE | 24 | 0,10 | 0,17 | | 0,42 | 0,06 | ab | 0,37 | 0,05 | bc | 0,02 | 0,05 | 0,33 | 0,17 | | |
| | TR | 31 | 0,22 | 0,09 | 0,30 | 0,46 | 0,04 | | 0,38 | 0,04 | | 0,02 | 0,08 | 0,24 | 0,07 | | |
| Er 3a R08 | TE | 42 | -0,23 | 0,19 | | 0,39 | 0,04 | b | 0,32 | 0,03 | c | 0,02 | 0,06 | 0,62 | 0,18 | | |
| | TR | 50 | 0,03 | 0,12 | 0,13 | 0,34 | 0,03 | | 0,32 | 0,03 | | 0,01 | 0,09 | 0,37 | 0,10 | | |
| Er 3b | TE | 33 | -0,09 | 0,17 | | 0,38 | 0,04 | b | 0,36 | 0,04 | bc | 0,03 | 0,01 | 0,48 | 0,15 | | |
| | TR | 35 | 0,17 | 0,12 | 0,27 | 0,43 | 0,03 | | 0,40 | 0,03 | | 0,06 | 0,02 | 0,29 | 0,11 | | |
| Er 3c | TE | 32 | -0,04 | 0,14 | | 0,39 | 0,03 | b | 0,36 | 0,03 | bc | 0,03 | 0,01 | 0,43 | 0,14 | | |
| | TR | 36 | 0,22 | 0,07 | 0,28 | 0,35 | 0,03 | | 0,39 | 0,03 | | 0,06 | 0,02 | 0,23 | 0,06 | | |
| Er 3d | TE | 7 | 0,00 | 0,34 | | 0,49 | 0,11 | ab | 0,46 | 0,09 | ab | 0,03 | 0,03 | 0,49 | 0,35 | | |
| | TR | 7 | 0,32 | 0,16 | 0,45 | 0,30 | 0,05 | | 0,44 | 0,07 | | 0,05 | 0,03 | 0,16 | 0,13 | | |
| Er 4bc | TE | 21 | 0,22 | 0,13 | | 0,46 | 0,06 | ab | 0,40 | 0,06 | b | 0,06 | 0,04 | 0,24 | 0,12 | | |
| | TR | 22 | 0,28 | 0,10 | 0,36 | 0,35 | 0,05 | | 0,38 | 0,04 | | 0,08 | 0,03 | 0,18 | 0,09 | | |
| Er 4fgh | TE | 22 | 0,34 | 0,10 | | 0,51 | 0,04 | a | 0,48 | 0,04 | a | 0,02 | 0,01 | 0,17 | 0,10 | | |
| | TR | 22 | 0,43 | 0,10 | 0,51 | 0,37 | 0,04 | | 0,49 | 0,04 | | 0,07 | 0,02 | 0,13 | 0,08 | | |
| Bj | TE | 35 | 0,25 | 0,12 | | 0,48 | 0,06 | a | 0,39 | 0,04 | b | 0,09 | 0,04 | 0,23 | 0,08 | | |
| | TR | 35 | 0,29 | 0,10 | 0,37 | 0,35 | 0,05 | | 0,39 | 0,04 | | 0,11 | 0,04 | 0,22 | 0,08 | | |
| BjR | TE | 32 | 0,13 | 0,17 | | 0,52 | 0,06 | a | 0,44 | 0,04 | ab | 0,09 | 0,04 | 0,40 | 0,14 | | |
| | TR | 35 | 0,24 | 0,10 | 0,32 | 0,33 | 0,05 | | 0,42 | 0,04 | | 0,09 | 0,03 | 0,28 | 0,09 | | |
| Pru | TE | 3 | 0,49 | 0,12 | | 0,53 | 0,08 | - | 0,53 | 0,07 | - | 0,01 | 0,02 | 0,04 | 0,09 | | |
| | TR | 4 | 0,49 | 0,07 | 0,54 | 0,39 | 0,10 | | 0,54 | 0,13 | | 0,08 | 0,04 | 0,13 | 0,15 | | |
| Province | TE | 251 | 0,06 | 0,06 | B | 0,44 | 0,02 | B | 0,39 | 0,01 | A | 0,05 | 0,01 | 0,38 | 0,05 | | |
| | TR | 277 | 0,22 | 0,04 | A | 0,25 | 0,36 | A | 0,39 | 0,01 | A | 0,08 | 0,01 | 0,25 | 0,03 | | |

2.4.3 Atteinte des cibles

Le tableau 5 montre qu'à l'échelle provinciale, 45 % des peuplements traités atteignent un AAN décennal de $0,3 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ ou plus. Ce seuil correspond aux valeurs généralement observées dans les dispositifs expérimentaux de la coupe de jardinage (p. ex. : MAJGEN *et al.* 2005). Ainsi, même si l'AAN moyen est très faible dans certains groupes, certains peuplements pourraient quand même atteindre un AAN comparable aux résultats des dispositifs expérimentaux (Tableau 5). À l'opposé, ces proportions suggèrent que même dans une région où l'AAN est très grand, comme pour les Er 4fgh, certains peuplements montrent un AAN trop faible pour permettre un retour en 20 ± 5 ans.

Le tableau 5 présente aussi la proportion des unités traitées de chaque groupe pour lesquelles l'AAV était de $0,4 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ ou plus. Ce seuil correspond aux valeurs généralement observées dans les dispositifs expérimentaux précédents étudiant la coupe de jardinage (p. ex. : MAJGEN *et al.* 2005). Les proportions de chaque groupe indiquent des tendances semblables

à celles observées pour l'AAN (Tableau 5). La principale exception concerne les Er 4bc, pour lesquelles la proportion d'unités est beaucoup plus faible pour l'AAV (36 %) que pour l'AAN (64 %).

2.4.4 Effets des traitements par période quinquennale

À l'échelle provinciale, les résultats pour les trois composantes de l'accroissement (AAN, AAB et AAV) ont démontré une interaction significative ($p \leq 0,0010$) des effets du traitement et de la période quinquennale de mesurage (Figure 8). Pour ces trois composantes, les principales différences proviennent des accroissements plus grands à la seconde période quinquennale dans les peuplements traités. L'AAN des peuplements traités tend à être plus important ($p = 0,1095$ pour cette comparaison) à la seconde période quinquennale ($0,26 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$) qu'à la première ($0,18 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$, Figure 8a). L'AAN des peuplements témoins est pratiquement nul ($-0,01 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$) à la seconde période quinquennale.

Tableau 5. Proportion des unités expérimentales traitées de chaque groupe dont : 1) l'AAN décennal est $\geq 0,3 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$; 2) l'AAV décennal est $\geq 0,4 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$. Les codes de groupe de peuplements sont définis au tableau 1.

| Groupe | Nombre d'unités expérimentales | Proportion des unités traitées (%) | |
|-------------|--------------------------------|---|---|
| | | AAN $\geq 0,3 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ | AAV $\geq 0,4 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ |
| Er 2a3a R07 | 30 | 32 | 39 |
| Er 3a R08 | 50 | 22 | 18 |
| Er 3b | 35 | 37 | 39 |
| Er 3c | 36 | 42 | 38 |
| Er 3d | 7 | 71 | 86 |
| Er 4bc | 22 | 64 | 36 |
| Er 4fgh | 22 | 86 | 91 |
| Bj | 35 | 54 | 47 |
| BjR | 35 | 43 | 60 |
| Pru | 4 | 100 | 100 |
| Province | 277 | 45 | 45 |

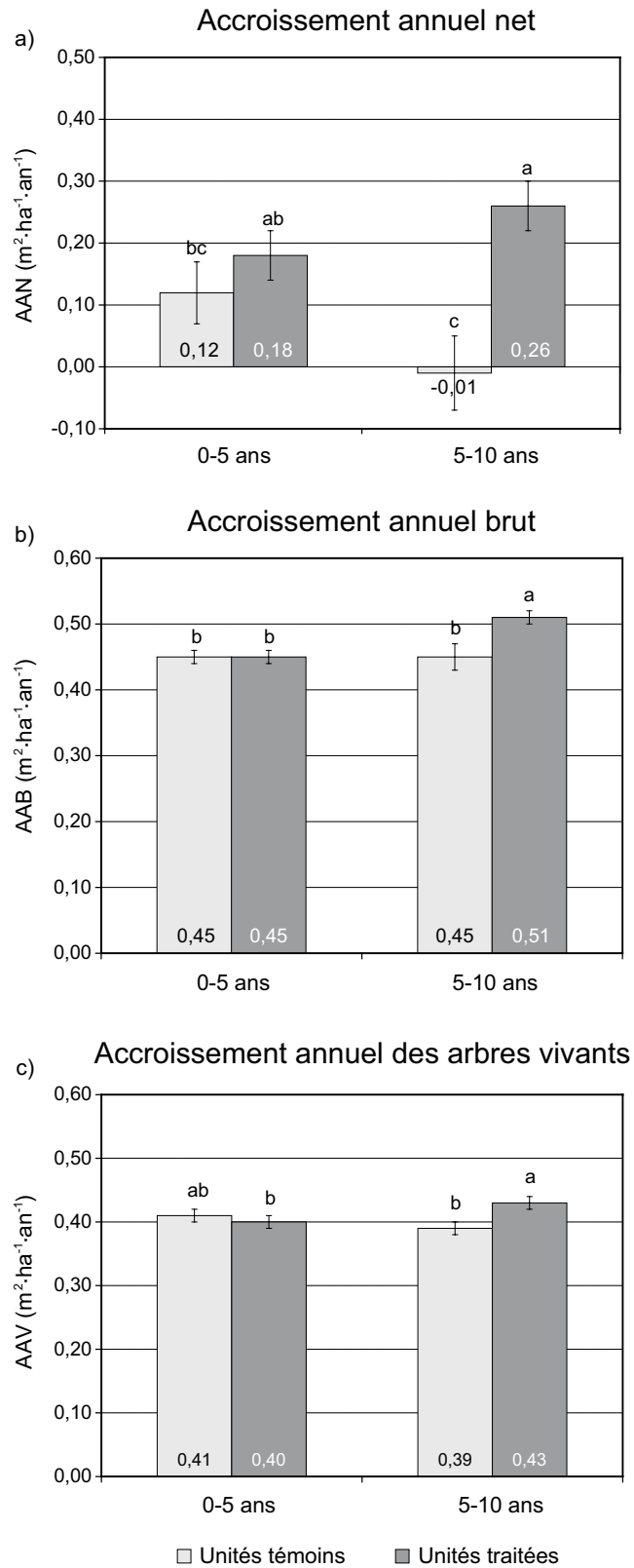


Figure 8. Effet des traitements et de la période (0-5 ans et 5-10 ans) sur les moyennes provinciales de a) l'accroissement annuel net (AAN), b) l'accroissement annuel brut (AAB) et c) l'accroissement annuel des arbres vivants (AAV). Les barres d'erreurs indiquent les intervalles de confiance à 95 %. Des lettres différentes indiquent des différences significatives ($p < 0,05$) entre les traitements et les périodes.

Chapitre trois

Discussion

3.1 Hypothèses du Manuel d'aménagement forestier

Les prélèvements moyens observés dans ce dispositif de mesure des effets réels satisfont généralement les trois principaux critères d'évaluation du Manuel d'aménagement forestier au sujet du taux de prélèvement, de la surface terrière résiduelle et du pourcentage d'augmentation de la surface terrière des arbres de la classe de vigueur 1 (MFO 1992, MRN 1998b). Premièrement, le taux de prélèvement variait de 25 à 35 % selon le groupe, ce qui est conforme à la recommandation du manuel. Deuxièmement, la surface terrière résiduelle moyenne est demeurée au-dessus du seuil minimal de $16 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$, avec des moyennes de 16,6 à $28,1 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ selon le groupe. Troisièmement, le pourcentage de la surface terrière des arbres de la classe de vigueur 1 (Tableau 3) a augmenté dans tous les groupes à la suite de la coupe (différence de 5 % en moyenne pour la province), mais cette augmentation n'était statistiquement significative que dans quatre de ces groupes. Ce gain résulte surtout d'une diminution de la surface terrière des arbres de la classe de vigueur 3, qui passe de 25 à 19 %. La composition en essences des peuplements a été très peu modifiée par la coupe (Tableau 2). La structure initiale des peuplements n'a été modifiée que modérément par la coupe, comme l'indique la diminution de 1,5 cm du dhp moyen provincial (Figures 3 et 6). Cette diminution résulte d'un faible prélèvement des perches de 10 à 22 cm au dhp et d'un plus fort prélèvement des gros et très gros bois. Malgré tout, les peuplements ont conservé leur caractère inéquienne et des structures appropriées pour la coupe de jardinage ou l'éclaircie jardinatoire.

Bien que les traitements aient été appliqués conformément aux critères du manuel, les effets du traitement sur l'AAN des peuplements sont loin d'avoir été ceux escomptés à l'époque. En effet, il était prévu que le volume marchand brut prélevé puisse se reconstituer en 20 ± 5 ans. Or, pour reconstituer en 25 ans la surface terrière prélevée de $9,0 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ (corrélée au volume, Tableau 3), il aurait fallu obtenir un AAN d'au moins $0,36 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ (Tableau 4). Ce niveau d'accroissement escompté équivalait à ceux de $0,34$ à $0,42 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ rapportés à l'époque dans les dispositifs de recherche de la DRF de 5 à 10 ans après la première coupe de jardinage (MAJGEN et

RICHARD 1992, MAJGEN 1995b, MAJGEN et RICHARD 1995, MAJGEN 1996). Ces coupes expérimentales avaient été pratiquées selon les recommandations de MAJGEN *et al.* (1990), lesquelles stipulaient d'enlever en priorité les arbres les plus faibles (les moins vigoureux parmi les classes 3, 4 et 6). Elles avaient laissé en place une proportion d'arbres de faible vigueur estimée à 29 % (données non publiées).

Par contraste, dans la présente étude, l'AAN observé sur la première période décennale après la coupe n'a été que de $0,22 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$, avec une limite supérieure de l'intervalle de confiance à 95 % de $0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ (test unilatéral). Dans les faits, les coupes pratiquées dans un contexte opérationnel ont laissé en place 44 % d'arbres de faible vigueur des classes 3, 4 et 6 (= $19 + 22 + 3$ %, Tableau 3), soit 15 % de plus que dans les dispositifs expérimentaux de la DRF. Par conséquent, les coupes pratiquées dans un contexte opérationnel ont laissé sur pied des peuplements de moins bonne qualité, mais avec l'hypothèse d'obtenir malgré tout un aussi bon AAN.

3.2 Facteurs de réussite

L'atteinte de l'AAN escompté au manuel aurait nécessité la convergence de trois facteurs de réussite : 1) une meilleure adéquation entre l'objectif d'accroissement et le choix des peuplements à traiter, 2) une plus grande amélioration des peuplements, et 3) des conditions climatiques favorables à l'accroissement pendant toute la période de rotation.

3.2.1 Relier les objectifs d'accroissement au choix des peuplements à traiter

Le premier facteur de réussite réside dans le choix des peuplements à traiter en lien avec l'hypothèse de rendement. Premièrement, la grande variabilité du CFC des peuplements étudiés suggère que certains d'entre eux devaient avoir un CFC initial trop faible (Figure 7) pour atteindre les objectifs de rendement escomptés. À cet effet, LEAK *et al.* (1987) indiquent que si le peuplement contient initialement un CFC inférieur à $9,2 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ ou 40 % de la surface terrière initiale (p. ex. : 40 % de $23 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} = 9,2 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$), alors il faut s'attendre à devoir débiter avec une série de coupes d'amélioration si l'on souhaite l'aménager en futaie jardinée. Des simulations de croissance pour le Québec ont corroboré cette hypothèse (GUILLEMETTE

et BÉDARD 2009). Pour ces peuplements, l'hypothèse d'accroissement aurait dû être revue à la baisse. Il est aussi possible que certains peuplements traités croissent dans des stations moyennement ou peu productives (Figure 9). Des travaux en cours visent à mieux décrire la qualité des stations à l'étude afin de tester cette possibilité. Néanmoins, la proportion des peuplements traités dont l'AAV est d'au moins $0,4 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ (Tableau 5) peut fournir une indication approximative de la proportion des peuplements ayant un bon potentiel de croissance dans chaque groupe.

De même, l'objectif de reconstituer le prélèvement sur un horizon de 20 ± 5 ans n'était pas réaliste dans les peuplements initialement très denses. Dans ces cas, il aurait été plus réaliste de viser à maintenir les peuplements dans un intervalle de densités plus optimales (LEAK *et al.* 1969). Par exemple, pour un peuplement feuillu de $28 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$, il serait possible d'effectuer un premier prélèvement important (ex. : $9 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$) et d'attendre 20 ± 5 ans pour que le peuplement atteigne une surface terrière d'au moins $24 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$. Ensuite, un second prélèvement plus modéré (ex. : $7 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$) serait pratiqué. Ainsi, il serait plus réaliste de viser à reconstituer le prélèvement dans cet intervalle de 17 à $24 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ (CCSMAF 2003).

3.2.2 Améliorer les peuplements

Le second facteur, et le plus important, aurait été de diminuer beaucoup la proportion d'arbres des classes de vigueur 3 et 4 lors de la coupe, et ce, au profit de la proportion d'arbres de la classe 1 (Figure 10). En ce sens, un meilleur choix des arbres à marquer pour la coupe et un meilleur contrôle du taux de blessure (ex. : 11,5 % des perches ont été blessées, GUILLETTE *et al.* 2009) auraient été bénéfiques. De nombreux arbres de la classe de vigueur 4 sont morts depuis la coupe, ce qui explique une bonne partie de la diminution de la proportion de ces arbres dans les peuplements (de 22 à 18 %, Tableau 3). Ces pertes ont été plus concentrées au cours de la première période quinquennale, d'où la tendance à l'augmentation de l'AAV entre la première ($0,18 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$) et la seconde ($0,26 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$) période quinquennale (Figure 8). Des taux de mortalité élevés pour les arbres défectueux, en particulier ceux de la classe de vigueur 4, ont amplement été démontrés pour le Québec (MAJGEN *et al.* 2005, FORTIN *et al.* 2008, GUILLETTE et BEAUDET 2011). Depuis la publication des premiers résultats de la mesure des effets réels (BÉDARD et BRASSARD 2002), un plan d'action a été mis en œuvre pour mener à une plus grande amélioration des peuplements lors des coupes de jardinage (MRNFP 2002).

3.2.3 Bénéficiaire de conditions climatiques favorables

Le troisième facteur de réussite est plus difficile à cerner et n'est pas contrôlable par les forestiers : il s'agit de variations d'accroissements corrélées à des variations des conditions climatiques entre les périodes (BÉDARD *et al.* 2012). Un sommet d'accroissement a été observé dans des blocs expérimentaux de la DRF pour les périodes quinquennales couvrant le début de la décennie 1990 (BÉDARD *et al.* 2012). Ce sommet était corrélé avec une température annuelle inférieure de $0,4$ à $0,9$ °C à celle des périodes quinquennales précédentes et suivantes, respectivement. Cette période pourrait avoir été moins stressante sur le bilan hydrique des arbres, ce qui aurait favorisé leur survie et leur croissance diamétrale. Cette période plus favorable est la même que la période de mesure couvrant les principaux résultats des coupes de jardinage disponibles au milieu de la décennie 1990 pour appuyer l'hypothèse d'accroissement énoncée au manuel (MAJGEN et RICHARD 1992, MAJGEN 1995b, MAJGEN et RICHARD 1995, MAJGEN 1996). Pour cette période, les AAN moyens avoisinaient effectivement $0,36 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ après la coupe de jardinage (BÉDARD *et al.* 2012). Par contre, à la fin de la décennie 1990, ils étaient beaucoup plus faibles, soit de $0,28 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ pour la première période quinquennale après la coupe (BÉDARD et BRASSARD 2002) ou de $0,20 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ pour la troisième période quinquennale après la coupe (BÉDARD *et al.* 2012). Or, cette période moins favorable à l'AAN correspond justement à la première période quinquennale de mesure du dispositif d'effets réels.

Par conséquent, même si les deux facteurs de réussite précédents avaient été rencontrés, il aurait fallu obtenir 25 années de conditions climatiques favorables pour respecter l'hypothèse d'AAN du manuel, soit une moyenne d'au moins $0,36 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$. Depuis ce temps, les résultats des coupes de jardinage dans les blocs expérimentaux ont été révisés à près de $0,3 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ avec des données obtenues sur une plus longue période (15 ans) et dans plus de secteurs (MAJGEN *et al.* 2005, BÉDARD *et al.* 2012). Si, d'une part, l'hypothèse soulevée par BÉDARD *et al.* (2012) au sujet de l'existence d'une relation négative entre la température et l'accroissement net se confirme et que, d'autre part, un réchauffement du climat n'est pas accompagné d'une hausse des précipitations, comme le proposent plusieurs modèles climatiques (LOGAN *et al.* 2011), alors il faut s'attendre à voir de moins en moins de périodes de fort accroissement dans l'avenir, particulièrement dans le sud-ouest québécois.



Figure 9. Sol très mince d'une érablière à hêtre de l'Outaouais (Crédit photo : Denis Rozon, MRN).



Figure 10. Érable à sucre de la classe de vigueur 3 qui aurait dû être récolté lors de la coupe de jardinage afin de réduire les risques de mortalité (Crédit photo : François Guillemette).



Figure 11. Érablière à hêtre de l'Outaouais photographiée 15 ans après la coupe de jardinage (Crédit photo : Denis Rozon, MRN).



Figure 12. Érablière à bouleau jaune du Témiscamingue photographiée quatre ans après le chablis de 2006 et 15 ans après la coupe de jardinage (Crédit photo : Jean Kirouac, MRN).



Figure 13. Érablière à bouleau jaune du Témiscamingue n'ayant pas été touchée par le chablis de 2006, photographiée 10 ans après la coupe de jardinage (Crédit photo : François Guillemette).



Figure 14. Bétulaie jaune résineuse de la région de Portneuf photographiée 14 ans après la coupe de jardinage (Crédit photo : Normand Routhier, MRN)

Les accroissements différents observés entre la première et la seconde période quinquennale de mesure des peuplements traités de la présente étude (Figure 8) ne semblent pas corrélés à des différences dans les conditions climatiques entre les deux périodes. La température (3,4 et 3,5 °C) et les précipitations (1027 et 1086 mm) annuelles moyennes de ces deux périodes étaient comparables, d'après les variables climatiques estimées selon BioSIM (RÉGNIERE et ST-AMANT 2008) pour les aires à l'étude. Les différences entre ces deux périodes pourraient avoir été causées par la présence de nombreux arbres de très faible vigueur après la coupe, lesquels seraient surtout morts au cours de la première période quinquennale.

3.3 Variations écologiques

Les résultats ont montré la présence de différences significatives entre les groupes de peuplements concernant leurs caractéristiques initiales et leurs modifications à la suite des coupes (Tableaux 2 et 3, Figures 3, 6 et 7). Plusieurs de ces différences sont reconnues comme ayant un effet significatif sur les composantes de l'accroissement des peuplements (FORTIN *et al.* 2009). Par exemple, la classe de vigueur explique une grande partie de la variation dans les probabilités de mortalité des arbres (FORTIN *et al.* 2008); il en résulte donc que la quantité d'arbres par classe de vigueur, ou de priorité de récolte, a des effets importants sur l'AAN (GUILLEMETTE et BÉDARD 2009). Malgré cela, les tests statistiques ont détecté peu de différences significatives d'AAN entre les groupes, même lorsqu'il y avait d'importantes différences de qualité des peuplements ou de leur niveau de CFC (Tableaux 3 et 4, Figure 7). Ce résultat pourrait être attribué à la forte variabilité associée à la grande erreur d'échantillonnage des unités expérimentales. Des analyses effectuées par modélisation à l'échelle de l'arbre montrent clairement les effets des classes de vigueur, de la température annuelle normale et d'un gradient régional sur la probabilité de mortalité des arbres dans la province (GUILLEMETTE et BEAUDET 2011). Autre phénomène, une rafale de vent extrême est survenue en juillet 2006 au Témiscamingue, ce qui a fortement perturbé les peuplements de cette région.

3.3.1 Érablières des collines de l'Outaouais, de la basse Gatineau, du lac Nominique et des hautes collines du bas Saint-Maurice (Er 2a3a R07, 3b et 3c)

Les résultats observés après la coupe pour les érablières de ces régions (Figure 11) indiquent que l'accroissement net atteint un niveau modéré (de 0,17 à 0,22 m²·ha⁻¹·an⁻¹), mais significative-

ment inférieur au seuil requis pour reconstituer en 25 ans la surface terrière prélevée (Tableau 4). Ces résultats sont semblables à ceux de la première période décennale de huit blocs expérimentaux de jardinage situés en Outaouais dans les régions 2a et 3a (0,22 m²·ha⁻¹·an⁻¹; MAJGEN 1997, BÉDARD et MAJGEN 2003, MAJGEN *et al.* 2004, BÉDARD *et al.* 2012). Plusieurs de ces blocs expérimentaux en Outaouais sont situés sur des sommets dont le sol est mince et le drainage rapide. Cependant, les AAN des coupes de la présente étude sont nettement inférieurs à ceux des 16 blocs expérimentaux de jardinage situés dans la région 3b (0,35 m²·ha⁻¹·an⁻¹; MAJGEN 1995b, 1997; BÉDARD et MAJGEN 2001, 2003; MAJGEN *et al.* 2004, 2006; et données non publiées). Cette différence d'AAN dans la région 3b est surtout attribuable à un meilleur contrôle de la mortalité dans les dispositifs expérimentaux de jardinage (0,14 m²·ha⁻¹·an⁻¹ au lieu de 0,29 m²·ha⁻¹·an⁻¹). Les niveaux de CFC des peuplements après les coupes de jardinage de la présente étude étaient très bas (6,7 à 8,7 m²·ha⁻¹, Figure 7), ce qui peut expliquer la plus forte mortalité des arbres (FORTIN *et al.* 2008).

L'accroissement net à venir pour ces peuplements est difficile à prédire, étant donné qu'ils contiennent une forte proportion de hêtre (de 13 à 22 %, Tableau 2); cette espèce est susceptible de connaître un fort taux de mortalité d'ici 3 à 20 ans, à cause de l'arrivée récente de la maladie corticale du hêtre dans cette région (MORIN *et al.* 2007, MRNF 2009). Cependant, la surface terrière laissée après la coupe était relativement grande (19,3 à 19,7 m²·ha⁻¹). Par conséquent, même si l'accroissement est faible, il est possible que 25 ans après ces coupes, plusieurs peuplements atteignent une surface terrière suffisante pour qu'on y effectue une coupe de jardinage.

3.3.2 Érablières des collines du Témiscamingue (Er 3a R08)

L'AAN des érablières traitées au Témiscamingue (3a R08) est le plus faible de l'étude, avec une valeur presque nulle (0,03 m²·ha⁻¹·an⁻¹, Tableau 4). Pourtant, le niveau de CFC après la coupe (9,5 m²·ha⁻¹, Figure 7) était légèrement supérieur à la moyenne provinciale. Cependant, l'AAN à la première période quinquennale a été très faible (GUILLEMETTE *et al.* 2009), et une rafale de vent survenue en juillet 2006 (moyenne de 107 km·h⁻¹ pendant une minute) a engendré la mort d'arbres et a infligé des blessures (Figure 12). Par conséquent, il sera impossible de reconstituer en 25 ans la surface terrière prélevée, puisque l'accroissement net qui serait nécessaire (8,6 ÷ 15 = 0,57 m²·ha⁻¹·an⁻¹) est supérieur à l'accroissement brut actuel de ces peuplements (0,41 m²·ha⁻¹·an⁻¹, Tableau 4).

L'accroissement net risque peu de s'améliorer substantiellement à court terme. D'abord, le CFC a diminué au cours des dix dernières années, passant de 9,5 à 7,5 m²·ha⁻¹. Une part des déclassements d'arbres serait attribuable aux effets collatéraux des pertes par chablis, c'est-à-dire la création de blessures portées aux arbres résiduels lorsqu'un autre arbre est cassé ou renversé par le vent. Ensuite, la proportion de hêtre a augmenté significativement dans ces peuplements, pour passer de 8 à 10 % en 10 ans (Tableau 2). Or, comme dans la région décrite précédemment, le hêtre est susceptible de connaître un fort taux de mortalité d'ici 3 à 20 ans à cause de l'arrivée de la maladie corticale du hêtre dans cette région (MORIN *et al.* 2007, MRNF 2009).

Malgré ces résultats généralement décevants, il y a quand même 22 % des peuplements étudiés pour lesquels l'AAN des dix dernières années était supérieur ou égal à 0,3 m²·ha⁻¹·an⁻¹ (Tableau 5, Figure 13), ce qui se compare à l'AAN observé pour la coupe de jardinage dans les blocs expérimentaux du Québec (MAJGEN *et al.* 2005).

3.3.3 Érablières des Appalaches (Er 3d, 4fgh)

Les résultats observés après la coupe pour les érablières de ces régions indiquent que l'accroissement net atteint un bon niveau (de 0,32 à 0,43 m²·ha⁻¹·an⁻¹, Tableau 4), lequel pourrait être suffisant pour espérer reconstituer la surface terrière prélevée en 25 ans ou moins. Ces résultats sont comparables à ceux de la première période décennale de deux blocs expérimentaux de jardinage dans les Er 3d (0,34 m²·ha⁻¹·an⁻¹, BÉDARD et MAJGEN 2001 et données non publiées) et de trois blocs dans les Er 4f (0,43 m²·ha⁻¹·an⁻¹, BÉDARD et MAJGEN 2001, 2003). Le CFC des peuplements après les coupes de la présente étude était élevé (de 11,7 à 13,7 m²·ha⁻¹, Tableau 4), ce qui peut expliquer le plus faible taux de mortalité (FORTIN *et al.* 2008). De plus, les structures de ces peuplements se distinguaient des autres érablières par une grande surface terrière de petits bois (8,3 m²·ha⁻¹ dans la région 4fgh) ou de moyens bois (7,8 m²·ha⁻¹ dans la région 3d) et une très faible quantité de très gros bois (de 0,4 à 1,0 m²·ha⁻¹, Figures 6e et 6g). Or, des taux de mortalité plus faibles sont normalement rapportés pour des arbres vigoureux dans les classes de petits et moyens bois (GUILLEMETTE *et al.* 2008). De plus, des facteurs environnementaux propres aux Appalaches (sols, climat) pourraient expliquer une partie de ces bons résultats.

3.3.4 Érablières des coteaux du réservoir Cabonga et des collines du moyen Saint-Maurice (Er 4bc)

L'AAN de ces érablières a été bon (0,28 m²·ha⁻¹·an⁻¹, Tableau 4) au cours des dix dernières années et ce, malgré le faible CFC après la coupe (7,4 m²·ha⁻¹·an⁻¹, Figure 7). D'ailleurs, celui-ci était davantage comparable à celui de certaines érablières ayant affiché les plus forts taux de mortalité (p. ex. : CFC de 6,7 et 7,6 m²·ha⁻¹ dans Er 2a3a R07 et Er 3b, respectivement). Cependant, ces peuplements bénéficiaient de conditions climatiques fraîches pour des érablières (température normale de 1,6 °C), lesquelles seraient associées à de plus faibles probabilités de mortalité (GUILLEMETTE *et al.* 2008), possiblement en raison d'un stress hydrique moindre. Par ailleurs, ils avaient des surfaces terrières résiduelles assez faibles (16,6 m²·ha⁻¹). Pour l'instant, on ne peut pas affirmer que l'accroissement net y est insuffisant pour espérer reconstituer en 25 ans la surface terrière prélevée.

3.3.5 Bétulaies jaunes (Bj et BjR)

Les résultats observés après la coupe dans les bétulaies jaunes (Figure 14) indiquent que l'AAN est plutôt bon (de 0,24 à 0,29 m²·ha⁻¹·an⁻¹, Tableau 4). Selon ces accroissements, il est possible que la surface terrière prélevée puisse se reconstituer en 25 ans ou moins dans les Bj. Toutefois, une incertitude demeure, puisque le niveau d'accroissement recherché est plus près de la limite supérieure de l'intervalle de confiance à 95 % sur la moyenne, que de la moyenne elle-même. La situation dans les BjR est comparable à celle des Bj, sauf que l'hypothèse de reconstitution de la surface terrière prélevée est tout juste rejetée près du seuil d'erreur accepté. L'AAR relativement grand (de 0,09 à 0,11 m²·ha⁻¹·an⁻¹) a permis de compenser une partie des pertes par mortalité. Ces résultats d'accroissements sont presque identiques à ceux observés dans deux blocs expérimentaux de jardinage situés dans des Bj et dans quatre blocs situés dans des BjR (MAJGEN et BÉDARD 2003, 2004). La composition des Bj et BjR de la présente étude a été peu modifiée par la coupe, même si la surface terrière des résineux a diminué significativement de 37 à 31 % dans les BjR (Tableau 2). Fait intéressant à noter, la plus forte mortalité observée dans les BjR n'est pas attribuable aux résineux en particulier.

3.4 Implications pour l'aménagement

Les résultats de la présente étude permettent de préciser l'accroissement net moyen des peuplements aménagés par la coupe de jardinage au cours des années 1995 à 1999; cette donnée est fonda-

mentale pour estimer la période de retour dans ces coupes (la rotation). Si le retour est prévu lorsque la surface terrière initiale sera reconstituée (MFO 1992, MRN 1998b) et que l'accroissement de la première période décennale (Tableau 4) se maintient, alors la rotation moyenne de ces coupes devrait être de 20 à 25 ans dans les Er 3d et Er 4fgh, de près de 30 ans dans les Er 4bc, les Bj et les BjR, et de plus de 40 ans dans les autres érablières. Cependant, reconstituer la surface terrière prélevée à la première coupe ne constitue pas nécessairement un objectif à atteindre. En effet, si la surface terrière initiale a une valeur très élevée, sa reconstitution peut nécessiter d'accepter une longue période où la productivité du peuplement est de plus en plus faible (LEAK *et al.* 1969). Par conséquent, l'aménagiste pourrait préférer se fixer un objectif de production réaliste et chercher à maintenir le peuplement dans un intervalle de surface terrière où sa productivité est maximale. Si l'objectif de production était de $7 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ (p. ex. LEAK *et al.* 1987) et que l'accroissement de la première période décennale se maintenait, alors la rotation moyenne des coupes à l'étude devrait être de 15 à 20 ans dans

les Er 3d et Er 4fgh, de 25 ans dans les Er 4bc et les Bj, de 30 ans dans les Er 2a3a R08, les Er 3c et les BjR, puis de 40 ans dans les Er 3b.

Les principales caractéristiques observées dans les groupes ayant affiché les meilleurs accroissements sont : 1) un niveau élevé de CFC, 2) une structure contenant peu de gros et de très gros bois, 3) un climat local relativement frais. Ces caractéristiques sont cohérentes avec les variables explicatives présentes dans le simulateur SaMARE d'accroissement des érablières (FORTIN *et al.* 2009). Une analyse comparative des prédictions de SaMARE avec les observations de la présente étude est en cours (GAUTHIER *et al.*, en préparation). Si les biais et erreurs de simulations sont acceptables, alors les simulations permettraient de mieux cibler les caractéristiques dendrométriques des peuplements offrant un accroissement acceptable. De plus, des sondages sont en cours afin de mieux corrélérer les résultats d'accroissements de cette étude avec des indices de qualité des stations.

Conclusion

Le dispositif de mesure des effets réels des coupes de jardinage a été mis en place afin de vérifier si les hypothèses énoncées dans le Manuel d'aménagement forestier (MFO 1992, MRN 1998b) sont confirmées par les traitements effectués en forêt publique. Les prélèvements moyens obtenus lors des coupes de ce dispositif satisfont généralement aux trois principaux critères d'évaluation du manuel, soit l'intervalle du prélèvement, la surface terrière résiduelle minimale et l'augmentation de la proportion de la surface terrière des arbres de la classe 1 (vigoureux et de qualité). Malgré cela, les effets des coupes sur l'AAN des peuplements sont loin d'être ceux escomptés. En effet, l'AAN moyen observé est de $0,22 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ pour la première période décennale, ce qui est nettement en deçà de l'AAN d'au moins $0,36 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ nécessaire pour reconstituer en 15 à 25 ans la surface terrière prélevée lors de la coupe. Cependant, cette réduction moyenne ne reflète pas les différences régionales. Par exemple, les AAN des érablières situées dans les Appalaches (régions écologiques 3d et 4fgh) sont suffisants pour espérer un retour en 15 à 25 ans. Par contraste, les AAN des érablières situées dans les régions écologiques 2a, 3a, 3b et 3c ne permettent pas d'espérer un retour en moins de 30 ans.

Cet écart entre les résultats observés et l'hypothèse du Manuel s'explique d'abord par le fait que ces coupes ont été pratiquées en laissant sur pied des peuplements de moins bonne qualité que dans les dispositifs expérimentaux de la DRF. L'atteinte d'un AAN important requiert une bonne protection du capital forestier en croissance (CFC) et l'élimination de la plupart des arbres défectueux et de faible qualité (classe de vigueur 4). Le niveau de qualité

du peuplement permet de mieux définir l'hypothèse d'accroissement. D'ailleurs, la grande variabilité du CFC des peuplements étudiés suggère que certains d'entre eux avaient initialement trop peu de CFC pour atteindre les objectifs de rendement escomptés. Par ailleurs, les conditions climatiques rencontrées dans ces peuplements pendant la période d'étude pourraient expliquer une partie des accroissements faibles qui ont été observés. Il est possible que les peuplements du dispositif d'effets réels aient bénéficié de conditions moins favorables à l'accroissement qu'auparavant. Les résultats démontrent aussi d'importantes différences entre les groupes de peuplements, en particulier les régions écologiques, sur le plan des caractéristiques et de l'accroissement des peuplements traités.

Plusieurs peuplements ont été traités en conservant une surface terrière résiduelle relativement grande ($19 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$). Par conséquent, même si leur AAN est modéré (moyenne de $0,22 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$), une bonne partie d'entre eux pourrait atteindre, en 25 ans, une surface terrière suffisante pour permettre une seconde coupe, si l'AAN obtenu 10 ans après la première coupe se maintient sur toute la rotation. Cependant, cette prochaine coupe devra être de plus faible intensité que celle effectuée dans le dispositif à l'étude (environ $7 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ au lieu de $9 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$) et se faire selon les règles de l'art (p. ex. : MAJGEN *et al.* 1990). Ces règles préconisent notamment la récolte prioritaire des arbres défectueux et d'essences non désirées, ainsi que le maintien d'une structure diamétrale permettant la production soutenue de bois d'œuvre. Autrement, c'est la possibilité d'y pratiquer une troisième coupe avec une rotation d'au plus 25 ans qui sera compromise.

Références bibliographiques

- ARBOGAST, C. Jr., 1957. *Marking guides for northern hardwoods under the selection system*. USDA Forest Service, Lake States Forest Experiment Station., St. Paul, MN. Station Paper No. 56, 21 p. [http://nrs.fs.fed.us/pubs/misc/sp_ls056.pdf].
- BÉDARD, S. et F. BRASSARD, 2002. *Les effets réels des coupes de jardinage dans les forêts publiques du Québec en 1995 et 1996*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la planification et des communications. 15 p. [www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Bedard-Steve/Rapport-effets-reels-mrn.pdf].
- BÉDARD, S. et Z. MAJGEN, 2001. *Ten-year response of sugar maple-yellow birch-beech stands to selection cutting in Québec*. North. J. Appl. For. 18 : 119-126.
- BÉDARD, S. et Z. MAJGEN, 2003. *Growth following single-tree selection cutting in Québec northern hardwoods*. For. Chron. 79 : 898-905.
- BÉDARD, S., S. MEUNIER, L. BLAIS et Z. MAJGEN, 2004. *Les effets réels des coupes de jardinage dans les forêts publiques du Québec de 1995 à 1998*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Rapport interne n° 483. 50 p.
- BÉDARD, S., J. DEBLOIS et F. GUILLEMETTE, 2012. *Accroissements 15 ans après coupe de jardinage dans des érablières : une analyse par périodes quinquennales et par secteurs*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche n° 165, 25 p. [www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Bedard-Steve/Memoire165.pdf].
- [CCSMAF] COMITÉ CONSULTATIF SCIENTIFIQUE DU MANUEL D'AMÉNAGEMENT FORESTIER, 2003. *Aménagement de peuplements de structure inéquienne pour la production du bouleau jaune : avis scientifique*. Gouvernement du Québec, Forêt Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. 158 p. [<ftp://ftp.mrn.gouv.qc.ca/public/Bibliointer/Mono/2012/01/1088047.pdf>].
- FORTIN, M., S. BÉDARD, J. DEBLOIS et S. MEUNIER, 2008. *Predicting individual tree mortality in northern hardwood stands under uneven-aged management in southern Québec, Canada*. Ann. For. Sci. 65(2) : 205.
- FORTIN, M., S. BÉDARD et J. DEBLOIS, 2009. *SaMARE : un modèle par tiges individuelles destiné à la prévision de la croissance des érablières de structure inéquienne du Québec méridional*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 155. 44 p. [www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Fortin-Mathieu/Memoire155.pdf].
- GAUTHIER, M.-M., F. GUILLEMETTE et S. BÉDARD, en préparation. *Capacité des modèles SaMARE et ARTÉMIS-2009 à simuler l'évolution de la coupe de jardinage pratiquée dans un contexte opérationnel en forêt feuillue du Québec* (titre provisoire). Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière.
- GUILLEMETTE, F. et M. BEAUDET, 2011. *Patterns of tree mortality after partial cutting in northern hardwood stands along an ecological gradient - Implications for deadwood recruitment*. Conférence donnée le 17 mai 2011 dans le cadre du Symposium international sur la dynamique et les services écologiques du bois mort dans les écosystèmes forestiers, tenu à Rouyn-Noranda du 16 au 19 mai 2011.
- GUILLEMETTE, F. et S. BÉDARD, 2009. *Modélisation simplifiée de l'accroissement net des coupes de jardinage comme outil de transfert de la connaissance*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Avis technique SSRF-2. 13 p. [www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Guillemette-Francois/Avis-technique-modelisation.pdf].
- GUILLEMETTE, F., S. BÉDARD et M. FORTIN, 2008. *Evaluation of a tree classification system in relation to mortality risk in Québec northern hardwoods*. For. Chron. 84 : 886-899.

- GUILLEMETTE, F., S. MEUNIER, M.-C. LAMBERT et S. BÉDARD, 2009. *Effets réels quinquennaux des coupes partielles pratiquées de 1995 à 1999 dans des érablières*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Rapport hors série. 56 p. [[www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Guillemette-Francois/Effets-reels\(95-99\).pdf](http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Guillemette-Francois/Effets-reels(95-99).pdf)].
- Hsu, J.C., 1996. *Multiple comparisons: theory and methods*. Chapman and Hall, London, Royaume-Uni. 277 p.
- LEAK, W.B., D.S. SOLOMON et S.M. FILIP, 1969. *A silvicultural guide for northern hardwoods in the Northeast*. USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Upper Darby, PA. Research Paper NE-143, 34 p. [www.fs.fed.us/newtown_square/publications/research_papers/pdfs/scanned/OCR/ne_rp143.pdf].
- LEAK, W.B., D.S. SOLOMON et P.S. DEBALD, 1987. *Silvicultural guide for northern hardwood types in the northeast (revised)*. USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Broomall, PA. Research Paper NE-603. 36 p. [www.fs.fed.us/newtown_square/publications/research_papers/pdfs/scanned/rp603.pdf].
- LOGAN, T., I. CHARRON, D. CHAUMONT et D. HOULE, 2011. *Atlas de scénarios climatiques pour la forêt québécoise*. Ouranos et le ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 55 p. [www.ouranos.ca/media/publication/162_AtlasForet2011.pdf].
- MAJGEN, Z., 1995a. *Historique des coupes de jardinage dans les forêts inéquiennes au Québec*. Géographes 6 : 63-71.
- MAJGEN, Z., 1995b. *Résultats après 10 ans d'un essai de coupe de jardinage dans une érablière*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 122. 32 p. [www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Divers/Memoire122.pdf].
- MAJGEN, Z., 1996. *Coupe de jardinage et coupe de succession dans cinq secteurs forestiers. Croissance quinquennale en surface terrière et état de la régénération*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Note de recherche forestière n° 70. 20 p. [www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Divers/Note70.pdf].
- MAJGEN, Z., 1997. *Coupe de jardinage et coupe de succession dans trois secteurs forestiers : accroissement décennal en surface terrière et état de la régénération*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 129. 48 p. [www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Divers/Memoire129.pdf].
- MAJGEN, Z. et S. BÉDARD, 2003. *Accroissement et régénération à la suite de coupes de jardinage dans les bétulaies à bouleau jaune et sapin baumier*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Rapport interne n° 481. 26 p.
- MAJGEN, Z. et S. BÉDARD, 2004. *Accroissement et régénération à la suite des coupes de jardinage et de succession dans 21 blocs expérimentaux*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Rapport interne n° 485. 32 p.
- MAJGEN, Z. et Y. RICHARD, 1992. *Résultats après 5 ans d'un essai de coupe de jardinage dans une érablière*. Can. J. For. Res. 22 : 1623-1629.
- MAJGEN, Z. et Y. RICHARD, 1995. *Coupe de jardinage dans six régions écologiques du Québec. Croissance quinquennale en surface terrière*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche n° 120. 22 p. [www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Divers/Memoire120.pdf].
- MAJGEN, Z., Y. RICHARD et M. MÉNARD, 1984. *Écologie et dendrométrie dans le sud-ouest du Québec. Étude de douze secteurs forestiers*. Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources (Forêts), Service de la recherche. Mémoire de recherche n° 85. 333 p. [www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Divers/Memoire085.pdf].
- MAJGEN, Z., Y. RICHARD et M. MÉNARD, 1985. *Composition, structure et rendement des érablières dans cinq secteurs de la région de l'Outaouais*. Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Service de la recherche. Mémoire de recherche n° 88. 130 p. [www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Divers/Memoire88.pdf].

- MAJCEN, Z., Y. RICHARD, M. MÉNARD et Y. GRENIER, 1990. *Choix des tiges à marquer pour le jardinage d'érablières inéquiennes. Guide technique.* Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources (Forêts), Direction de la recherche et du développement, Service de la recherche appliquée. Mémoire n° 96. 96 p. [www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Divers/Memoire96.pdf].
- MAJCEN, Z. S. BÉDARD et S. MEUNIER, 2004. *Accroissement et régénération à la suite des coupes de jardinage et de succession dans 21 blocs expérimentaux.* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Rapport interne n° 485. 32 p.
- MAJCEN, Z., S. BÉDARD et S. MEUNIER, 2005. *Accroissement et mortalité quinze ans après la coupe de jardinage dans quatorze érablières du Québec méridional.* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche n° 148. 39 p. [www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Bedard-Steve/Memoire148.pdf].
- MAJCEN, Z., S. BÉDARD et S. MEUNIER, 2006. *Forêt d'enseignement et de recherche Mousseau. Synthèse des travaux 1981-2005.* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Rapport hors série. 83 p. [www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Bedard-Steve/Hors-serie-FER-Mousseau.pdf].
- [MFO] MINISTÈRE DES FORÊTS, 1992. *Manuel d'aménagement forestier, 2^e édition, Québec.* Gouvernement du Québec, ministère des Forêts. 267 p.
- MORIN, R.S., A.M. LIEBHOLD, P.C. TOBIN, K.W. GOTTSCHALK et E. LUZADER, 2007. *Spread of beech bark disease in the eastern United States and its relationship to regional forest composition.* Can. J. For. Res. 37 : 726-736.
- [MRN] MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, 1994. *Aménager pour mieux protéger les forêts : une stratégie.* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction des programmes forestiers. Publication FQ 94-3051, 197 p.
- [MRN] MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, 1995. *Instructions relatives à l'application du règlement sur la valeur des traitements sylvicoles admissibles en paiement des droits (Édition révisée). Exercice 1995-1996.* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de l'assistance technique. 175 p.
- [MRN] MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, 1996. *Instructions relatives à l'application du règlement sur la valeur des traitements sylvicoles admissibles en paiement des droits. Exercice 1996-1997.* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de l'assistance technique. 74 p.
- [MRN] MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, 1997. *Instructions relatives à l'application du règlement sur la valeur des traitements sylvicoles admissibles en paiement des droits. Exercice 1997-1998.* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction des services administratifs et techniques. 74 p.
- [MRN] MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, 1998a. *Instructions relatives à l'application du règlement sur la valeur des traitements sylvicoles admissibles en paiement des droits. Exercice 1997-1998.* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de l'assistance technique. 62 p.
- [MRN] MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, 1998b. *Manuel d'aménagement forestier, 3^e édition, Québec.* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction des programmes forestiers. 122 p.
- [MRN] MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, 1999. *Instructions relatives à l'application du règlement sur la valeur des traitements sylvicoles admissibles en paiement des droits. Exercice 1999-2000.* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de l'assistance technique. 67 p.
- [MRNF] MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE, 2009. *Insectes, maladies et feux dans les forêts québécoises - 2008.* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'environnement et de la protection des forêts. 64 p. [www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/fimaq/insectes/bilan2008.pdf].

- [MRNFP] MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, DE LA FAUNE ET DES PARCS, 2002. *Plan d'action pour l'amélioration de l'aménagement des forêts feuillues du domaine de l'État*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs. 6 p. [www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/amenagement/Plan-action-Jardinage.pdf].
- RÉGNIÈRE, J. et R. SAINT-AMANT, 2008. *BioSIM 9 - Manuel de l'utilisateur*. Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Laurentides, Québec. Rapport d'Information LAU-X-134f. 74 p.
- ROBITAILLE, A. et J.-P. SAUCIER, 1998. *Paysages régionaux du Québec méridional*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles. Publication RN 98-3034. 213 p.
- SAS INSTITUTE INC., 2010. *SAS/STAT® 9.22 User's Guide*. Cary, NC : SAS Institute Inc. 8460 p.
- SAUCIER, J.-P., A. ROBITAILLE et P. GRONDIN, 2009. *Cadre bioclimatique du Québec*. Dans : *Écologie forestière*. Manuel de foresterie, 2^e édition. Ordre des ingénieurs forestiers du Québec. Éditions Multimondes, Québec, Qc. p. 186-205.
- SMITH, H.C. et N.I. LAMSON, 1982. *Number of residual trees : A guide for selection cutting*. USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Upper Darby, PA. General Technical Report NE-80. 33 p. [www.fs.fed.us/ne/newtown_square/publications/technical_reports/pdfs/scanned/gtr80.pdf].
- TRIMBLE, G.R., J.J. MENDEL et R.A. KENNEL, 1974. *A procedure for selection marking: combining silvicultural considerations with economic guidelines*. USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Upper Darby, PA. Research Paper NE-292. 13 p [www.fs.fed.us/ne/newtown_square/publications/research_papers/pdfs/scanned/OCR/ne_rp292.pdf].
- WESTFALL, P.H., R.D. TOBIAS, D. ROM, R.D. WOLFINGER et Y. HOCHBERG, 1999. *Multiple comparisons and multiple tests using the SAS system*. SAS Institute Inc., Cary, NC. 416 p.

Annexe

Normes pour la pratique de la coupe de jardinage de 1995 à 1999

Le cadre normatif a évolué durant la période couverte par le dispositif de mesure des effets réels. La pratique en vigueur dans les peuplements de feuillus venait de passer de la coupe à diamètre limite, pour laquelle toutes les tiges dont le diamètre égalait ou dépassait le minimum prescrit pouvaient être récoltées, à la coupe de jardinage, pour laquelle les tiges en perdition devaient être récoltées de façon prioritaire. Le texte qui suit présente la norme de la coupe de jardinage pour l'exercice 1995-1996 (MRN 1995) ainsi que son évolution dans le temps (MRN 1996, 1997, 1998a, 1999), tel qu'illustré par les insertions de texte entre crochets, lesquelles sont précédées de l'année de l'ajout aux instructions :

Par coupe de jardinage, on désigne l'abattage ou la récolte d'arbres choisis individuellement, ou par petits groupes, dans une futaie inéquienne pour amener celle-ci, ou pour la maintenir, dans une structure jardinée équilibrée tout en assurant les soins cultureux nécessaires aux arbres en croissance et en favorisant l'installation de semis. Une telle coupe nécessite la récolte des tiges, laquelle tient compte de l'ensemble des classes de diamètre, des essences, de la vigueur et de la qualité des tiges se trouvant dans le peuplement d'arbres. Au cours de l'intervention de récolte, la régénération et les gaules doivent être protégées.

Lorsque l'objectif du traitement exécuté est de régénérer le bouleau jaune, le pin blanc ou les épinettes, le débusquage des tiges doit se faire, de préférence, à un moment propice pour que le sol soit légèrement scarifié par le passage de la machinerie. Si la coupe est exécutée à un moment défavorable au bouleversement du sol, un scarifiage partiel doit être pratiqué au cours de la saison suivante [en 1996, « au cours de la saison suivante » est remplacé par « durant ou à la suite d'une bonne année semencière »].

Critères d'évaluation

Ces travaux sont admissibles en paiement des droits lorsque :

1. Le peuplement à traiter a atteint le stade de futaie inéquienne;
2. La surface terrière enlevée est comprise entre 25 et 35 % de la surface terrière initiale, y compris celle des arbres enlevés dans les chemins de débardage. Dans le cas du thuya, la surface terrière enlevée doit être comprise entre 20 et 30 % de la surface terrière initiale [en 1996, le paragraphe suivant a été ajouté : de façon facultative, ce pourcentage de prélèvement doit être respecté pour l'ensemble des classes de diamètre (10 cm et plus) ou pour chacune des grandes classes de diamètre établies par l'unité de gestion];
3. Le martelage doit être exécuté dans le but d'atteindre un pourcentage de qualité d'au moins 90 %;
4. Le martelage des peuplements destinés à la production mixte de résineux et de feuillus tolérants à l'ombre est exécuté de façon à maintenir la composition mélangée;
5. Le pourcentage (établi au moyen des surfaces terrières) des tiges classées « vigoureuses de qualité (I) » de chacune des essences désirées ou d'un groupe d'essences désirées, est supérieur, après le traitement, à ce qu'il était avant le traitement [en 1996, est ajouté : et ce, pour chacune des grandes classes de diamètre établies par l'unité de gestion].
6. [en 1997, le paragraphe suivant est ajouté : Cette augmentation de la qualité des tiges classées « vigoureuses de qualité (I) », doit être après :
 - le martelage : d'au moins 50 % du potentiel (maximum théorique) d'augmentation;
 - le traitement : le pourcentage d'augmentation recherché sera fixé ultérieurement.]
7. [en 1998, le pourcentage d'augmentation a été fixé à au moins 35 % du potentiel (maximum théorique)];
8. La surface terrière des tiges récoltées est comprise entre 90 et 110 % de la surface terrière des tiges

martelées pour les tiges dont le diamètre est égal ou supérieur à 24 cm [en 1997, on spécifie : supérieur à 10 cm (tiges martelées) ou à 24 cm (tiges non martelées, coupées ou renversées)]. Le nombre de tiges non martelées coupées, renversées ou blessées ne doit pas excéder 25 % du nombre total des tiges dans les classes de diamètre de 10 à 22 cm inclusivement; [à partir de 1997, le mot « blessées » a été retiré de la dernière phrase)];

9. La surface terrière résiduelle est d'au moins 16 m²·ha⁻¹.

En rapport avec ce qui précède, ajout en 1998, à la suite du point 5, de l'énoncé suivant :

Le pourcentage (établi au moyen des surfaces terrières) des tiges blessées classées « vigoureuses de qualité II », « faibles de qualité III » et « vigoureuses de qualité V » des essences désirées ne doit pas excéder 10 % des tiges résiduelles classées II, III et V des essences désirées.

En rapport avec ce qui précède, ajout en 1999, à la suite du point 2, de l'énoncé suivant :

Les critères d'application des interventions conformes au prélèvement simulé (pour ce qui est de la récolte totale, par classe de diamètre, par essence ou par classe de qualité), inscrits au plan général d'aménagement forestier selon la 3^e édition du Manuel d'aménagement forestier (février 1998) doivent être respectés. Ces critères de même que les modalités de suivi devront être intégrés dans les protocoles de suivi des interventions de l'aire commune concernée.

Un exemple de calcul du potentiel (maximum théorique) d'augmentation est présenté afin d'en faciliter la compréhension de ses effets sur la qualité des peuplements :

Un peuplement a une surface terrière de 25 m²·ha⁻¹, dont 10 m²·ha⁻¹ en tiges d'essences désirées de vigueur 1, ce qui représente une qualité initiale de 40 % (10 ÷ 25). Si la coupe porte sur 30 % de la surface terrière initiale, soit 7,5 m²·ha⁻¹, la surface terrière résiduelle sera de 17,5 m²·ha⁻¹. Si aucune tige de vigueur 1 n'est récoltée, la proportion maximale possible de tiges de vigueur 1 sera de 57 % (10 ÷ 17,5). Le potentiel (maximum théorique) d'augmentation de la proportion de tiges de vigueur 1 est alors de 17 % (57 % - 40 %). Il faut donc que la proportion de tiges de vigueur 1 après la coupe soit d'au moins 46 % (40 % + [35 % de 17 %]), soit 8,05 m²·ha⁻¹ (46 % de 17,5) si l'on veut satisfaire le critère d'atteindre après coupe un minimum de 35 % du potentiel (maximum théorique) d'augmentation. La norme permet donc de récolter un maximum de 2 m²·ha⁻¹ de tiges de vigueur 1 dans ce peuplement, ce qui représente 20 % des tiges de vigueur 1 du peuplement initial et 27 % du prélèvement.



Le ministère des Ressources naturelles a comme mandat de s'assurer de la gestion durable des forêts publiques québécoises. À cette fin, il conçoit et expérimente des traitements sylvicoles qui s'appuient sur l'autécologie des essences et qui s'inspirent de la dynamique naturelle des forêts de feuillus. Ces travaux servent notamment à définir les hypothèses de rendement pour déterminer la possibilité forestière ainsi que les modalités d'application des traitements sylvicoles. Selon ces objectifs, la Direction de la recherche forestière a un projet de mesure des effets réels des coupes de jardinage pratiquées dans des peuplements inéquiennes situés dans plusieurs régions du Québec méridional. Ce mémoire de recherche forestière présente les résultats d'une analyse de l'accroissement des peuplements après 10 ans dans un dispositif de mesure des effets réels des coupes de jardinage, telles qu'elles étaient pratiquées par les industriels forestiers au cours des années 1995 à 1999 dans les forêts publiques du Québec.

**Ressources
naturelles**

Québec 