

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



0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

Accroissements 15 ans après coupe de jardinage dans des érablières : une analyse par période quinquennale et par secteur

par Steve Bédard, Josianne DeBlois et François Guillemette

MÉMOIRE DE RECHERCHE FORESTIÈRE N° 165

DIRECTION DE LA RECHERCHE FORESTIÈRE

Accroissements 15 ans après coupe de jardinage dans des érablières : une analyse par période quinquennale et par secteur

par Steve Bédard, ing.f., M. Sc., Josianne DeBlois, stat., M. Sc. et François Guillemette, ing.f., M. Sc.

MÉMOIRE DE RECHERCHE FORESTIÈRE N° 165

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 un comité *ad hoc* formé d'au moins trois experts 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 : 978-2-550-65891-7
ISBN (PDF) : 978-2-550-65892-4
F.D.C. 243
L.C. SD 533

Notes biographiques



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.



Josianne DeBlois est statisticienne, diplômée de l'Université Laval depuis 1995. En 1996, le même établissement lui décerne un diplôme de maîtrise ès sciences. De 1996 à 1999, elle travaille au sein du groupe de biométrie de la Direction de la recherche forestière, où elle collabore principalement aux projets de recherche en amélioration génétique.

Après avoir été à l'emploi de Citibank Canada à Toronto, de 1999 à 2002, puis du Secrétariat du Conseil du trésor en 2003, elle joint de nouveau la Direction de la recherche forestière, section biométrie, où elle travaille depuis décembre 2003.



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).

Remerciements

Les auteurs désirent remercier MM. Jocelyn Hamel, Étienne Boulay, Jean-François Leblond et Éric Labrecque, techniciens forestiers, pour la cueillette des données sur le terrain. De plus, des remerciements particuliers s'adressent à M. Zoran Majcen, ing.f., *Ph. D.*, qui a initié et supervisé ce projet jusqu'en 2006, ainsi qu'à M. Laurier Groleau, technicien forestier, responsable de la cueillette

des données jusqu'en 2004. Des remerciements s'adressent également aux trois réviseurs anonymes ainsi qu'à l'éditeur associé pour leurs commentaires constructifs, ainsi qu'à Mme Denise Tousignant pour la révision linguistique et l'édition du manuscrit, à Mmes Sylvie Bourassa et Brigitte Boudreault pour la mise en page ainsi qu'à M. Jean Noël pour la préparation de la figure 1.

Résumé

Dans cette étude, nous comparons l'accroissement dans des érablières du Québec au cours de trois périodes quinquennales suivant la première coupe de jardinage. Dans 3 secteurs distincts d'un réseau de suivi des effets des coupes de jardinage, 12 peuplements comportant 14 unités jardinées et 12 unités sans intervention (témoins) ont été sélectionnés. Les résultats montrent d'abord que, dans l'ensemble des secteurs étudiés, la coupe de jardinage a stimulé la croissance en diamètre des plus petites tiges, tout en réduisant la mortalité et en favorisant le recrutement. Ensuite, dans un des trois secteurs étudiés, l'accroissement en surface terrière des tiges survivantes a été plus important. Toutefois, cette différence ne semble pas liée à un plus grand accroissement en diamètre des tiges survivantes, puisque aucune différence statistiquement significative n'a été observée entre les secteurs à cet égard. La différence d'accroissement découlerait plutôt de la plus grande surface terrière dans les peuplements de ce secteur,

vraisemblablement à cause de conditions de station plus favorables. Finalement, les analyses par période quinquennale révèlent que l'accroissement a été plus important lors de la deuxième période quinquennale suivant la coupe. Toutefois, comme l'accroissement a aussi augmenté dans les unités témoins au cours de la même période, le phénomène n'est pas uniquement associé à la coupe. Des facteurs climatiques pourraient être en cause, car une corrélation négative a été observée entre la température moyenne annuelle par période et l'accroissement annuel périodique. Nous concluons que l'accroissement pourrait dépendre des caractéristiques du peuplement, de la station et du climat régional, et que les fluctuations de la température annuelle moyenne peuvent entraîner des variations importantes de l'accroissement, particulièrement dans les régions les plus arides. Ces résultats suggèrent que la durée de la période de rotation pourrait varier selon ces facteurs.

Mots clés : coupe de jardinage, accroissement en surface terrière, accroissement en diamètre, mortalité, recrutement, rotation, érablière, Québec.

Abstract

This study compares growth in sugar maple stands of Québec over three five-year intervals following a selection cutting. Within three sectors of a plot network monitoring selection cutting, 12 stands comprising 14 treated (selection cutting) and 12 control plots (no intervention) were selected and measured every 5 years. Results show, first, that at the tree level in all sectors, selection cutting stimulated the diameter growth of the smaller trees; at the stand level, the treatment also reduced mortality and increased recruitment. Second, in one of the three sectors, the basal area increment of surviving stems was higher. However, this result could not be explained by differences in diameter increment of surviving stems, which did not differ significantly between the sectors. Rather, this result is probably related to the

higher overall basal area in this sector, possibly due to more favorable site conditions. Finally, the analyses reveal that the stand periodic increment was greatest during the second five-year period. However, since the increase was equally important in control and treated plots, it cannot be solely attributed to the cutting treatment. Because a negative correlation was observed between mean annual temperature and growth increment, climatic factors are also likely to be involved. We conclude that growth could depend on stand, site and regional climate characteristics, and that mean annual temperature fluctuations can greatly influence stand growth increment, especially in drier regions. These results suggest that the cutting cycle length could depend on these factors.

Keywords : selection cutting, basal area growth, diameter growth, mortality, recruitment, cutting cycle, sugar maple stand, Québec.

Table des matières

Résumé	v
Abstract	vi
Liste des tableaux	ix
Liste des figures	xi
Introduction	1
Chapitre premier - Matériel et méthodes	3
1.1 Secteurs d'étude.....	3
1.2 Martelage, mesurages et calcul des composantes de l'accroissement	4
1.3 Analyses statistiques	5
1.3.1 Accroissement en surface terrière des peuplements	5
1.3.2 Accroissement en diamètre des tiges survivantes	6
Chapitre deux - Résultats	7
2.1 Description dendrométrique des peuplements.....	7
2.2 Accroissement annuel périodique en surface terrière des peuplements	9
2.2.1 Tiges survivantes	9
2.2.2 Tiges recrues	10
2.2.3 Mortalité.....	10
2.2.4 Accroissement net.....	10
2.3 Accroissement annuel périodique du diamètre des tiges.....	12
Chapitre trois - Discussion	17
3.1 Accroissement des tiges survivantes	17
3.2 Recrutement	19
3.3 Mortalité	19
3.4 Accroissement net.....	19
Conclusion	21
Références bibliographiques	23

Liste des tableaux

Tableau 1. Surface terrière marchande totale (moyenne \pm erreur-type) et sa répartition par essence selon les secteurs et les traitements, avant et immédiatement après la coupe.....	7
Tableau 2. Analyses de la variance sur les composantes de l'accroissement annuel périodique en surface terrière des peuplements.....	9
Tableau 3. Moyennes ajustées (\pm erreur-type) des facteurs significatifs des analyses de la variance sur les composantes de l'accroissement annuel en surface terrière des peuplements.....	10
Tableau 4. Moyennes (\pm erreur-type) des accroissements annuels périodiques en surface terrière des peuplements selon les secteurs, les traitements et les périodes	11
Tableau 5. Analyses de la variance sur les accroissements périodiques annuels en diamètre, par classe de dhp.....	13
Tableau 6. Moyennes ajustées (\pm erreur-type) des facteurs significatifs des analyses de variance sur l'accroissement annuel du dhp des tiges, par classe de dhp.....	14

Liste des figures

Figure 1. Emplacement des secteurs de Duchesnay (DU), de Sainte-Véronique (SV) et de Forêt Gatineau (FG).....	3
Figure 2. Nombre moyen de tiges à l'hectare (Nbre) et surface terrière marchande moyenne (ST) dans les trois secteurs de l'étude, par traitement et classe de dhp.....	8
Figure 3. Relation entre l'accroissement annuel périodique en surface terrière des tiges survivantes (AAS, $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$) et la température annuelle moyenne par période (T, °C), pour les trois secteurs de l'étude	12
Figure 4. Relation entre l'accroissement annuel périodique net en surface terrière (AAN, $m^2 \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$) et la température annuelle moyenne par période (T, °C), pour chacun des traitements et des secteurs	13

Introduction

Les érablières constituent les peuplements les plus répandus dans la zone des forêts de feuillus du Québec méridional. Par le passé, des coupes à diamètre limite ont été fréquemment pratiquées dans ces forêts. Cette pratique, dans bien des cas, laissait sur pied les arbres de moindre qualité, ce qui a eu pour conséquence de diminuer le potentiel des peuplements exploités (MAJGEN 1994). Les travaux réalisés dans le nord-est des États-Unis (p. ex. : ERDMANN et OBERG 1973, CROW *et al.* 1981), ainsi que les guides sylvicoles qui en ont découlé (p. ex. : ARBOGAST 1957, LEAK *et al.* 1987) ont inspiré l'utilisation de la coupe de jardinage dans les peuplements de structure inéquienne possédant encore un capital forestier de qualité suffisante. L'objectif premier de l'introduction de ce traitement au Québec était de pratiquer une sylviculture mieux adaptée aux caractéristiques des érablières de structure inéquienne, tout en améliorant leur qualité et en favorisant la régénération des essences désirées. Aujourd'hui, dans le contexte de l'aménagement écosystémique des forêts du Québec, la coupe de jardinage est une pratique toujours pertinente, puisque ses effets s'apparentent à la dynamique naturelle des érablières dont le principal régime de perturbation est caractérisé par la formation de petites trouées créées par la mort d'arbres individuels et de petits groupes d'arbres (SEYMOUR *et al.* 2002, ANGERS *et al.* 2005).

En se basant sur les études de la croissance et de la dynamique naturelle des érablières au Québec, il semble que les coupes de jardinage dans ces forêts pourraient se pratiquer selon des rotations de 15 à 20 ans avec un prélèvement d'environ 30 % de la surface terrière (MAJGEN 1994). Afin de vérifier cette hypothèse de départ, plusieurs études ont été entreprises au Québec. Ainsi, sur une base expérimentale, les premières coupes de jardinage remontent au début des années 1980 dans la Forêt d'enseignement et de recherche Mousseau, située près de Sainte-Véronique dans la région des Hautes-Laurentides, ainsi que dans la forêt de Gatineau près de la ville de Gatineau (MAJGEN 1994). Par la suite, les travaux ont été étendus dans plusieurs autres secteurs expérimentaux. À partir de 1995, des mesures ont également été prises dans le cadre de

travaux réalisés sur une base opérationnelle, dans l'ensemble du Québec méridional (BÉDARD et BRASSARD 2002). Aujourd'hui, on compte un réseau de placettes expérimentales réparties dans 37 blocs et un autre réseau de placettes permettant de mesurer les effets des pratiques courantes dans l'ensemble des forêts publiques. Jusqu'à présent, les résultats concernant l'accroissement après une première coupe de jardinage expérimentale ont été publiés pour des périodes de 5 ans (MAJGEN et RICHARD 1992, 1995), 10 ans (MAJGEN 1995, 1996, 1997 et BÉDARD et MAJGEN 2001, 2003) et 15 ans (MAJGEN et BÉDARD 2000, MAJGEN *et al.* 2005). Les résultats obtenus 5 ans après les coupes réalisées sur une base opérationnelle au Québec ont également été publiés récemment (BÉDARD et BRASSARD 2002, BÉDARD *et al.* 2004, GUILLEMETTE *et al.* 2009b). Les résultats de ces travaux, et ceux des analyses en cours concernant les mesures de 10 ans (GUILLEMETTE *et al.*, en préparation), suggèrent notamment que l'accroissement obtenu après la coupe de jardinage est différent selon les régions écologiques, les périodes quinquennales et les caractéristiques des peuplements (composition en essences, structure et vigueur). D'autres résultats, basés sur le prélèvement de carottes dendrométriques sur des arbres survivants, ont également été publiés 10 ans après des coupes de jardinage opérationnelles au Québec (FORGET *et al.* 2007, HARTMANN *et al.* 2009) et de 5 à 15 ans après coupe en Ontario (JONES et THOMAS 2004, JONES *et al.* 2009). Ces derniers travaux suggèrent, entre autres, que l'accroissement obtenu après la coupe de jardinage varie selon la période de temps écoulée depuis celle-ci.

Cette étude vise à vérifier, à partir des plus récents résultats obtenus 15 ans après la coupe dans trois secteurs expérimentaux, si l'accroissement, le recrutement et la mortalité varient selon les traitements (témoin et coupe de jardinage), les secteurs étudiés et les périodes quinquennales. Ces résultats devraient permettre aux aménagistes de mieux estimer la période de rotation, grâce à une connaissance plus approfondie de la dynamique après la coupe.

Chapitre premier

Matériel et méthodes

1.1 Secteurs d'étude

L'étude a été effectuée dans trois secteurs forestiers comprenant chacun un dispositif expérimental analysé selon un plan d'expérience en quatre blocs aléatoires. Les blocs retenus ont été sélectionnés parmi 37 blocs expérimentaux établis dans le sud de la province de Québec pour étudier les effets des coupes de jardinage. Chaque bloc est composé d'une unité témoin sans intervention et d'une ou deux unités jardinées appariées. Les blocs sélectionnés devaient avoir été mesurés sur une période de 15 ans depuis la coupe et avoir été établis sur une période de quatre à cinq années consécutives, dans un même secteur. Ainsi, douze blocs provenant de trois secteurs ont été sélectionnés. Ces blocs sont situés à Duchesnay (DU), à la forêt Gatineau (FG) et à Sainte-Véronique (SV, Figure 1). Ils ont été établis de 1984 à 1988 dans le secteur SV, de 1984 à 1987 dans le secteur FG et de 1988 à 1992 dans le secteur DU. Dans les secteurs SV et DU, un bloc sur quatre est composé de deux unités jardinées pour une unité témoin. Dans le secteur FG, chacun des blocs est composé d'une unité jardinée et d'une unité témoin.

Le secteur DU est situé à une trentaine de kilomètres à l'ouest de la ville de Québec (Figure 1). La température annuelle normale pour la période 1971-2000, estimée à l'aide du logiciel BIOSIM (RÉGNIERE *et al.* 1995), est de 3,1 °C, et les précipitations annuelles totales sont estimées à 1358 mm. Selon la classification écologique de SAUCIER *et al.* (2001), ce secteur est situé dans la sous-région écologique 4dM du sous domaine de la sapinière à bouleau jaune de l'est. Cependant, les érablières sont omniprésentes sur les collines de ce secteur, lequel borde d'ailleurs le sous-domaine de l'érablière à tilleul de l'est. Les peuplements étudiés se trouvent à des altitudes comprises entre 170 et 360 m. Le terrain de deux blocs expérimentaux correspond au type écologique de l'érablière à bouleau jaune sur dépôt mince à épais, de texture moyenne et de drainage mésique (FE32, BLOUIN et BERGER 2003); pour les deux autres, il s'agit plutôt du type écologique de l'érablière à bouleau jaune et hêtre sur dépôt de mince à épais, de texture moyenne et de drainage mésique (FE42, BLOUIN et BERGER 2003). Les dépôts de surface sont des tills dont l'épaisseur est moyenne (50 à 100 cm)

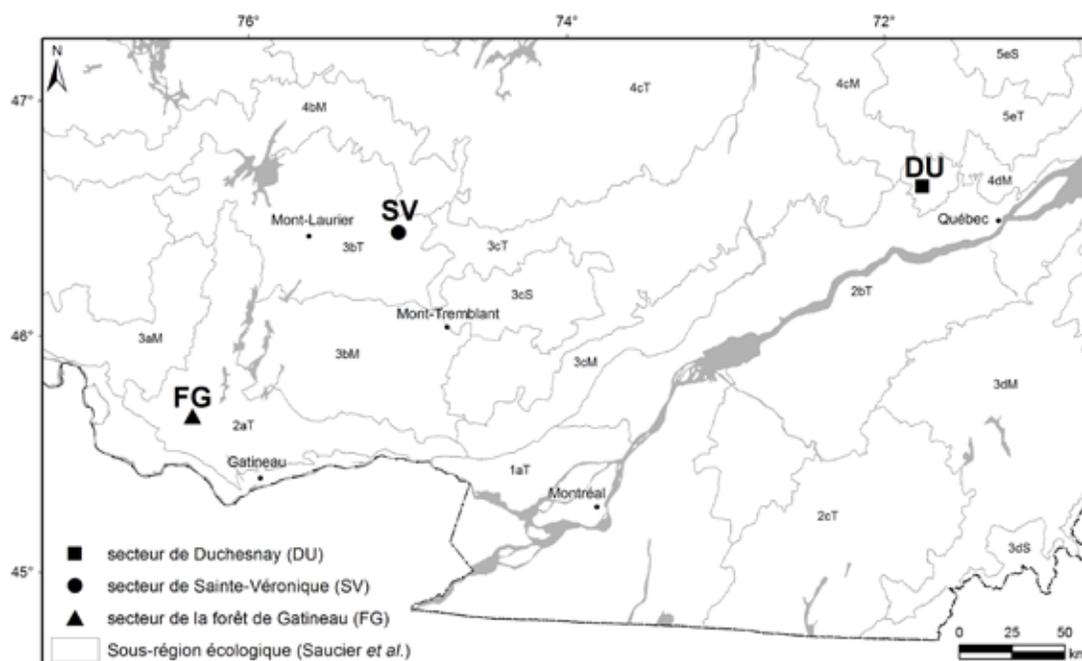


Figure 1. Emplacement des secteurs de Duchesnay (DU), de Sainte-Véronique (SV) et de Forêt Gatineau (FG).

pour le type FE32 et varie de très mince (< 25 cm) à mince (25 à 50 cm) pour le type FE42. Le drainage varie de bon à modéré. Ces sols appartiennent à la série de sol Saint-Colomban (RAYMOND *et al.* 1976). Ils s'identifient à un complexe de terrains issus de tills minces reposant sur le roc. Ce sont généralement des podzols qui dérivent de roches précambriennes, principalement de granit, gneiss et anorthosite.

Le secteur FG est situé à une cinquantaine de kilomètres au nord-ouest de la ville de Gatineau (Figure 1). La température annuelle normale est estimée à 3,9 °C, et les précipitations totales annuelles sont estimées à 996 mm. La forêt de Gatineau est située dans la sous-région écologique 2aT du sous-domaine bioclimatique de l'érablière à tilleul de l'ouest. Les peuplements étudiés sont situés à une altitude comprise entre 280 et 360 m. Le type écologique identifié sur le terrain est l'érablière à tilleul sur dépôt mince à épais, de texture moyenne et de drainage mésique (FE22, GOSSELIN 2004). Les dépôts de surface sont des tills d'épaisseur variant de très mince à moyenne. Le drainage varie de bon à modéré. Selon LAJOIE (1967), le bloc établi en 1984 se situe sur un sol Lakefield. Ce type de terrain contient des profils bruns podzoliques et des podzols minces ou minimaux, formés sur un mince till de loam sableux. Les autres blocs établis dans le secteur se trouvent sur des sols de la série Gatineau, qui se classent parmi les sols bruns podzoliques et ont une texture de loam sableux. Ils sont formés sur un till dérivé des formations précambriennes comme le granit, le gneiss, le gabbro, l'anorthosite et le calcaire cristallin.

Le secteur SV est situé dans la Forêt d'enseignement et de recherche Mousseau, à environ 200 km au nord-ouest de la ville de Montréal. La température annuelle normale est estimée à 2,3 °C, et les précipitations totales annuelles sont estimées à 1068 mm. Ce secteur fait partie de la sous-région écologique 3bT du sous-domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune de l'ouest. Les peuplements étudiés sont situés à des altitudes comprises entre 340 et 480 m. Le type écologique identifié sur le terrain est celui de l'érablière à bouleau jaune, avec un sol de texture moyenne et de drainage variant de bon à modéré (FE32, GOSSELIN 2002). Les dépôts de surface sont des tills d'épaisseur moyenne. Les sols du secteur font partie de la série Sainte-Agathe et sont dérivés de roches précambriennes : gneiss, granite, gabbro, anorthosite (LAJOIE 1967). Selon MAJGEN *et al.* (1984), les sols de ce secteur sont majoritairement des podzols humo-ferriques dont la texture varie de loam sableux à sable loameux.

1.2 Martelage, mesurages et calcul des composantes de l'accroissement

Les unités expérimentales témoins ont une superficie d'un hectare (100 m x 100 m), alors que celles jardinées ont une superficie de deux hectares (100 m x 200 m). Chaque unité est entourée d'une bande tampon de 25 m de largeur dans laquelle le même traitement a été pratiqué. Des mesures dendrométriques ont été prises sur toutes les tiges marchandes dont le diamètre à hauteur de poitrine (dhp) était de 9,1 cm et plus. Le dhp de ces tiges a été mesuré au compas forestier par classe de 2 cm afin d'établir la structure diamétrale des peuplements et de préparer la prescription de martelage.

Le martelage a été effectué selon la méthode proposée par MAJGEN *et al.* (1990). Cette méthode est basée sur l'utilisation d'une distribution diamétrale théorique pour le peuplement, représentée par un rapport moyen entre le nombre de tiges dans une classe de diamètre et le nombre de tiges dans la classe suivante (facteur q), pour un diamètre maximal et une surface terrière résiduelle déterminée. Le facteur q utilisé pour guider le martelage a été calculé à partir de la distribution initiale des tiges du peuplement. L'objectif était de conserver le même facteur q avec une surface terrière moindre après la coupe. La coupe visait à prélever en priorité les tiges d'essences non désirées et celles qui étaient défectueuses et de faible vigueur dans toutes les classes de diamètre. En moyenne, 30 % de la surface terrière a été prélevée, jusqu'à concurrence d'un maximum de 10 m²·ha⁻¹, pour maintenir la stabilité du peuplement après la coupe. Un procédé de récolte par abattage manuel à l'aide d'une scie à chaîne a été utilisé dans l'ensemble des secteurs. Le débardage des tiges a été exécuté à l'aide d'une débusqueuse à câble dans l'ensemble des unités des secteurs SV et FG et dans une des unités du secteur DU. Dans les quatre autres unités du secteur DU, le débardage a été réalisé avec un tracteur de ferme muni d'un treuil forestier.

Après la coupe, une placette de 50 m sur 100 m a été établie dans chaque unité expérimentale. Les tiges marchandes y ont été numérotées et leur dhp a été mesuré au millimètre près à l'aide d'un ruban diamétrique. Ces mesures ont été prises immédiatement après la coupe, à l'exception de deux unités traitées établies en 1984, pour lesquelles la première mesure a été réalisée 1 an après la coupe. Par la suite, les mesures ont été réalisées à trois reprises, à des intervalles variant de 4 à 6 ans sur une période de 15 ans.

Ces mesures répétées de diamètre ont permis de calculer quatre composantes de l'accroissement annuel en surface terrière ($\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$) des peuplements, telles que définies par ERDMANN et OBERG (1973), pour chacune des trois périodes quinquennales. La première composante est l'accroissement des tiges survivantes, laquelle est la sommation de la croissance des tiges marchandes qui étaient vivantes au début et à la fin d'une période quinquennale donnée. La deuxième composante concerne le recrutement, c'est-à-dire les tiges dont le dhp a atteint ou dépassé le seuil pour une tige marchande au cours de la période de mesure. La troisième composante est la mortalité, qui correspond au nombre de tiges marchandes qui étaient vivantes en début de période et qui sont mortes durant la période de mesure. La quatrième composante est l'accroissement net, c'est-à-dire la sommation de l'accroissement des tiges survivantes et du recrutement, à laquelle on soustrait la mortalité. À l'échelle de la tige, l'accroissement en dhp des tiges survivantes (mm) a également été calculé pour chaque période de mesure, en effectuant la différence entre la mesure prise à la fin de la période et celle prise en début de période.

1.3 Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide de la procédure MIXED de SAS (SAS INSTITUTE 2009) en considérant les accroissements annuels moyens obtenus pour chacune des unités expérimentales à chaque période. Puisque les mesures des trois périodes étaient analysées dans un même modèle, une structure de covariance a été testée et utilisée, lorsque requise, pour tenir compte de l'autocorrélation entre les mesures effectuées sur les mêmes unités expérimentales (correspondant à une unité témoin ou jardinée). Plusieurs structures de covariance ont été testées; la sélection finale de la structure a été faite de manière à minimiser la valeur de la vraisemblance obtenue ($-2 \text{ Res Log Likelihood}$), tout en ayant le moins de paramètres possible. Lorsque des comparaisons multiples s'avéraient nécessaires, une approche par simulation (WESTFALL *et al.* 1999) a été utilisée pour déterminer où se situaient les différences. Les hypothèses sous-jacentes aux modèles employés (normalité et homogénéité de la variance des résidus et présence de données aberrantes) ont été vérifiées graphiquement, de même qu'avec le test de Shapiro-Wilk dans le cas de la normalité. Le seuil de significativité utilisé pour toutes les analyses statistiques a été fixé à 5 %.

Afin de compléter les analyses de variance, l'accroissement net en surface terrière et celui des tiges survivantes ont été mis en relation avec des normales climatiques (température moyenne annuelle, température moyenne de la saison de croissance, précipitations totales, précipitations utiles, degrés jours $> 5^\circ\text{C}$, déficit en eau) de chaque secteur pour chacune des périodes. Puisque plusieurs des variables climatiques utilisées étaient fortement corrélées entre elles, une analyse de groupement a d'abord été réalisée avec la procédure VARCLUS de SAS, afin de produire des groupes de variables hautement corrélées, alors que celles provenant de deux groupes différents sont peu corrélées. En sélectionnant une seule variable pour représenter chacun des groupes, on utilise donc des variables peu ou pas corrélées, ce qui est souhaitable en modélisation. La procédure ayant ici partitionné les variables en deux groupes, un pour les variables de température et un relié aux variables de précipitations, deux variables ont été retenues, soit la température moyenne annuelle et les précipitations totales annuelles. Ces variables ont ainsi été introduites dans des modèles de régressions linéaires à l'aide de la procédure MIXED du progiciel SAS, en plus des facteurs reliés au dispositif, afin de déterminer si elles avaient un effet significatif sur les accroissements. À noter cependant que les secteurs eux-mêmes n'ont pas été considérés dans ces modèles. En effet, comme ils possèdent des caractéristiques climatiques différentes, leur effet est confondu en grande partie avec celui du climat.

1.3.1 Accroissement en surface terrière des peuplements

Un modèle d'analyse de la variance à mesures répétées a été utilisé pour chacune des composantes de l'accroissement des peuplements. Le modèle comprenait trois facteurs à effets fixes, soit la période (1, 2 ou 3), le secteur (DU, FG et SV) et le traitement (témoin, jardiné), de même que toutes les interactions (doubles et triple) entre ces facteurs. Deux facteurs à effets aléatoires, soit les blocs et les unités expérimentales, ont également été inclus dans le modèle. La qualité d'ajustement des modèles a été évaluée par un pseudo-coefficient de détermination (pseudo- R^2), défini comme étant le carré du coefficient de corrélation entre les valeurs observées et celles prédites.

1.3.2 *Accroissement en diamètre des tiges survivantes*

Les accroissements annuels moyens en dhp (mm) des tiges survivantes ont été calculés par unité expérimentale, pour chaque période et classe de dhp à laquelle l'arbre appartenait au début de la période de mesure (perches : 9,1 à 19,0 cm, petits bois : 19,1 à 29,0 cm, moyens bois : 29,1 à 39,0 cm, gros bois : 39,1 à 49,0 cm, très gros bois : plus de 49 cm). Les tiges recrues ont été ajoutées lorsqu'elles avaient au moins 91 mm de dhp au début de la période. Les analyses ont été effectuées par classe de dhp sur les accroissements annuels moyens par unité expérimentale, pour chaque période, en utilisant le même modèle que celui décrit pour l'accroissement des peuplements. Le nombre de tiges par traitement, secteur et période variait de 275 à 499 dans la classe des plus petits dhp, et de 12 à 55 dans la classe des plus grands dhp.

Chapitre deux

Résultats

2.1 Description dendrométrique des peuplements

Le tableau 1 présente la surface terrière marchande des peuplements par secteur et par traitement, avant et immédiatement après la coupe. La surface terrière moyenne des unités jardinées dans le secteur SV, avant et après la coupe, est supérieure à celle des autres secteurs. Le taux moyen de prélèvement réalisé est de 29 %, soit une surface terrière de 7 à 8 m²·ha⁻¹ selon les secteurs. L'érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh., ERS) domine nettement les secteurs SV et FG, avec plus de 80 % de la surface terrière des peuplements, tandis qu'il n'occupe qu'un peu plus de 50 % de la surface terrière dans le secteur DU. Les principales essences compagnes de l'érable à sucre dans le secteur DU sont le hêtre à grandes feuilles (*Fagus grandifolia* Ehrh., HEG), le

bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britton, BOJ) et l'érable rouge (*Acer rubrum* L., ERR). Dans les secteurs SV et FG, les principales essences compagnes sont le hêtre à grandes feuilles, le bouleau jaune et le tilleul d'Amérique (*Tilia americana* L., TIL). Dans les secteurs DU et FG, la catégorie « Autres » est relativement importante. Dans le secteur DU, elle comprend l'épinette rouge (*Picea rubens* Sarg), la pruche (*Tsuga canadensis* [L.] Carr) et le sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill.), tandis que dans le secteur FG, elle inclut principalement l'ostryer de Virginie (*Ostrya virginiana* [Mill.] K. Koch), le chêne rouge (*Quercus rubra* L.), le bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.) et le cerisier tardif (*Prunus serotina* Ehrh.). Dans le secteur SV, la catégorie « Autres » comprend l'ostryer de Virginie et l'épinette rouge.

Tableau 1. Surface terrière marchande totale (moyenne ± erreur-type) et sa répartition par essence selon les secteurs et les traitements, avant et immédiatement après la coupe. Les espèces « Autres » de chaque secteur sont énumérées à la section 2.1 du texte principal.

Secteur ¹	Trait. ²	Nbre ³	Mesure ⁴	Totale (m ² ·ha ⁻¹)	Surface terrière marchande					
					ERS	HEG	BOJ	ERR	TIL	Autres
DU	j	4	AVC	24,9 ± 0,7	52,2	26,6	15,1	3,5	0,0	2,6
	j	4	APC	17,8 ± 0,4	55,7	22,4	15,1	3,5	0,0	3,3
	t	3	-	24,1 ± 0,9	50,3	15,7	24,3	8,0	0,0	1,8
FG	j	4	AVC	25,7 ± 0,8	81,3	8,9	0,7	0,5	3,7	4,9
	j	4	APC	18,3 ± 0,5	82,0	7,8	1,0	0,4	4,9	3,9
	t	4	-	25,0 ± 0,8	83,4	9,7	0,1	2,6	1,2	3,0
SV	j	5	AVC	28,9 ± 0,7	89,3	5,5	2,5	0,0	2,1	0,6
	j	5	APC	20,9 ± 1,0	89,0	5,8	2,1	0,0	2,6	0,5
	t	4	-	28,8 ± 1,4	81,1	13,8	3,2	0,0	1,5	0,4

¹ Secteur : DU = Duchesnay, FG = Forêt de Gatineau, SV = Sainte-Véronique.

² Trait. : Traitement j = jardiné, t = témoin.

³ Nbre : nombre d'unités expérimentales.

⁴ Mesure : AVC = avant coupe, APC = après coupe.

⁵ Essence : ERS = érable à sucre, HEG = hêtre à grandes feuilles, BOJ = bouleau jaune, ERR = érable rouge, TIL = tilleul d'Amérique, Autres = autres essences commerciales.

Les distributions du nombre moyen de tiges et de la surface terrière moyenne par classe de diamètre, avant et après intervention, sont présentées à la figure 2, et ce, séparément pour chaque traitement et secteur. Tous les peuplements ont une distribution diamétrale typique des érablières de structure inéquienne, avec un nombre élevé de tiges dans les petites classes de diamètre, qui diminue graduellement dans les classes suivantes. Après la coupe dans les parcelles traitées, la distribution diamétrale correspond approximativement à un facteur q de 1,12, calculé pour des classes de diamètre de 2 cm et un dhp maximal de 54 cm (MAJGEN *et al.* 1990). La

distribution de la surface terrière par classe de diamètre est de forme parabolique, avec un maximum observé dans la classe de 29,1 à 39,0 cm. Avant la coupe, la principale différence entre les secteurs concerne le plus grand nombre de tiges dans les diamètres de catégorie supérieure dans le secteur SV, et ce, autant dans les unités témoins que dans les unités jardinées. Bien que le prélèvement ait été réalisé dans toutes les classes de diamètre, le taux de prélèvement était beaucoup plus fort dans les classes supérieures de diamètre, dans lesquelles le nombre de tiges défectueuses était généralement plus élevé.

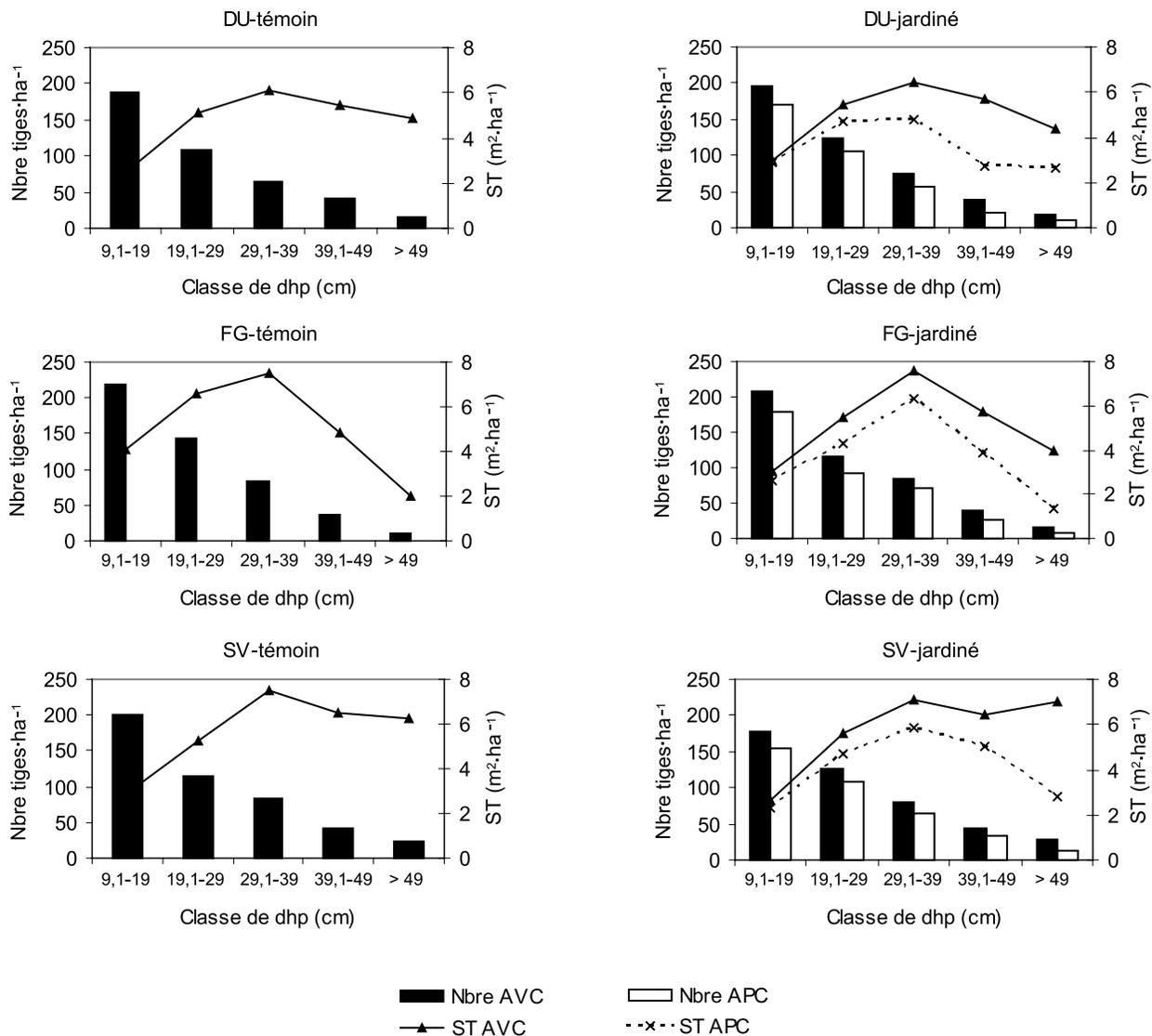


Figure 2. Nombre moyen de tiges à l'hectare (Nbre) et surface terrière marchande moyenne (ST) dans les trois secteurs de l'étude, par traitement et classe de dhp (DU : Duchesnay, FG : Forêt de Gatineau, SV : Sainte-Véronique; AVC : avant la coupe; APC : après la coupe).

2.2 Accroissement annuel périodique en surface terrière des peuplements

Les résultats des analyses de la variance effectuées sur les composantes de l'accroissement annuel périodique en surface terrière ne révèlent aucune interaction significative entre les effets de secteur, de traitement ou de période (Tableau 2). Toutefois, l'interaction entre le secteur et la période est près du seuil de significativité de 5 % ($p = 0,064$) pour l'accroissement des tiges survivantes. Les effets simples significatifs des trois facteurs diffèrent selon les composantes de l'accroissement. Les moyennes ajustées des facteurs significatifs pour chacune des composantes de l'accroissement sont présentées au tableau 3, et les moyennes brutes des mêmes composantes sont présentées au tableau 4. Les paragraphes qui suivent présentent les résultats détaillés des analyses de la variance pour chacune des composantes de l'accroissement.

2.2.1 Tiges survivantes

Il y a des différences significatives entre les secteurs d'étude ($p = 0,010$) et entre les périodes ($p < 0,001$) pour les tiges survivantes, mais aucune différence significative n'a été détectée entre les traitements ($p = 0,604$, Tableau 2). D'une part, l'accroissement

obtenu dans le secteur SV est significativement plus important que dans les secteurs FG et DU, qui ne sont pas significativement différents l'un de l'autre. D'autre part, l'accroissement de la deuxième période est significativement plus important que celui des deux autres, qui ne diffèrent pas significativement l'une de l'autre. Lorsqu'on examine les moyennes brutes présentées au tableau 4, on peut remarquer que l'augmentation de l'accroissement durant la deuxième période a été plus marquée dans les secteurs FG et SV, et ce, autant dans les unités témoins que jardinées. Dans les unités jardinées du secteur DU, l'accroissement à la deuxième période dépasse légèrement celui des autres, alors que dans les unités témoins de ce secteur, l'accroissement progresse lentement de la première à la troisième période (Tableau 4).

Lorsqu'on retire l'effet de secteur du modèle et qu'on analyse les données d'accroissement en fonction des variables climatiques sélectionnées (température et précipitations), le modèle retenu (pseudo- $R^2 = 36,1\%$) montre une corrélation négative entre la température moyenne annuelle et l'accroissement périodique des tiges survivantes, en plus d'un effet de la période, semblable à celui observé dans l'analyse précédente (Figure 3).

Tableau 2. Analyses de la variance sur les composantes de l'accroissement annuel périodique en surface terrière des peuplements (Structure de variances-covariances retenue = Composantes de la variance [*Variance Components*] pour les tiges survivantes, la mortalité et l'accroissement net; Non structurée [*Unstructured*] pour les recrues). Les valeurs en gras identifient les facteurs significatifs pour lesquels un test de comparaisons multiples a été effectué.

Source de variation	DLn ¹	Tiges survivantes		Recrues		Mortalité		Accroissement net	
		DLd ²	<i>p</i>	DLd	<i>p</i>	DLd	<i>p</i>	DLd	<i>p</i>
Secteur (S)	2	8,8	0,010	12,5	0,046	9,8	0,387	9,7	0,164
Traitement (T)	1	51,6	0,604	11,4	0,018	52,4	< 0,001	52,2	< 0,001
Période (P)	2	50,9	< 0,001	19,0	0,070	51,8	0,005	51,7	< 0,001
S x T	2	51,6	0,302	11,4	0,884	52,4	0,299	52,3	0,240
S x P	4	50,9	0,064	22,0	0,783	51,8	0,419	51,7	0,333
T x P	2	50,9	0,162	19,0	0,950	51,8	0,596	51,7	0,971
S x T x P	4	50,9	0,836	22,0	0,855	51,8	0,420	51,7	0,570

¹DLn : degrés de liberté du numérateur.

²DLd : degrés de liberté du dénominateur selon l'approximation de Kenward & Roger.

2.2.2 Tiges recrutées

L'accroissement en surface terrière des recrutées diffère significativement selon le traitement ($p = 0,018$). En effet, la coupe de jardinage a augmenté le recrutement de 67 % dans les unités jardinées, comparativement aux unités témoins (Tableau 3). Aucune différence n'a été détectée entre les périodes ($p = 0,070$, Tableau 2). Quant à l'effet des secteurs d'étude, les différences ne sont pas aussi marquées. En effet, bien que l'analyse de la variance conclue à des différences significatives entre les secteurs ($p = 0,046$, Tableau 2), le test de comparaisons multiples ne détecte aucune différence significative entre ceux-ci, après la correction des seuils pour tenir compte de la multiplicité des tests (Tableau 3).

2.2.3 Mortalité

La perte annuelle périodique de surface terrière du peuplement par mortalité varie significativement selon le traitement ($p < 0,001$) et la période ($p = 0,005$), mais pas selon le secteur ($p = 0,387$, Tableau 2). Ainsi, la coupe de jardinage a permis de réduire la mortalité de 45 % par rapport aux témoins (Tableau 3). Par ailleurs, la mortalité était significativement plus élevée à la troisième période qu'aux deux périodes précédentes, lesquelles n'étaient pas significativement différentes l'une de l'autre.

2.2.4 Accroissement net

Des différences significatives de l'accroissement net ont été détectées entre les traitements ($p < 0,001$) et les périodes ($p < 0,001$), mais pas entre les secteurs ($p = 0,164$, Tableau 2). Ces effets ont été produits par la sommation des effets observés pour les différentes composantes de l'accroissement. Ainsi, les effets de traitement observés pour le recrutement et la mortalité ont produit un accroissement net significativement plus grand dans les unités jardinées que dans les unités témoins (Tableau 3). De plus, tel qu'il a été observé pour l'accroissement des tiges survivantes, l'accroissement net est significativement plus important à la deuxième période qu'aux deux autres. L'accroissement net ne diffère pas significativement entre la première et la troisième période, malgré la plus forte mortalité observée à la dernière (Tableau 3). Le plus fort accroissement des tiges survivantes dans le secteur SV, comparativement aux secteurs DU et FG, ne semble pas s'être répercuté sur l'accroissement net, puisqu'il n'y a pas de différences significatives de l'accroissement net entre les secteurs (Tableau 2).

Tableau 3. Moyennes ajustées (\pm erreur-type) des facteurs significatifs des analyses de la variance sur les composantes de l'accroissement annuel en surface terrière des peuplements.

Verticalement, pour un facteur et un accroissement donnés, les moyennes suivies de lettres distinctes présentent des différences significatives au seuil de 5 %.

Secteur ¹	Trait. ²	Période	Accroissement annuel périodique ($m^2 \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1}$)			
			Tiges survivantes	Recrues	Mortalité	Accroissement net
DU			0,39 \pm 0,01 a	0,06 \pm 0,01 a	-	-
FG			0,38 \pm 0,02 a	0,03 \pm 0,01 a	-	-
SV			0,46 \pm 0,01 b	0,03 \pm 0,01 a	-	-
	j		-	0,05 \pm 0,01 a	0,18 \pm 0,02 a	0,27 \pm 0,03 a
	t		-	0,03 \pm 0,01 b	0,33 \pm 0,02 b	0,11 \pm 0,03 b
		1	0,38 \pm 0,01 a	-	0,23 \pm 0,03 a	0,18 \pm 0,03 a
		2	0,45 \pm 0,01 b	-	0,22 \pm 0,03 a	0,28 \pm 0,03 b
		3	0,39 \pm 0,01 a	-	0,32 \pm 0,03 b	0,11 \pm 0,03 a

¹ Secteur : DU = Duchesnay, FG = Forêt de Gatineau, SV = Sainte-Véronique.

² Trait. : Traitement j = jardiné, t = témoin.

Tableau 4. Moyennes (\pm erreur-type) des accroissements annuels périodiques en surface terrière des peuplements selon les secteurs, les traitements et les périodes.

Secteur ¹	Trait. ²	Pér. ³	ST ⁴ (m ² ·ha ⁻¹)	Accroissement annuel périodique (m ² ·ha ⁻¹ ·an ⁻¹)				
				Tiges survivantes	Recrues	Mortalité	Accroissement net	
DU	j	1	17,8	0,36 \pm 0,02	0,05 \pm 0,01	0,08 \pm 0,04	0,33 \pm 0,05	
		2	19,4	0,40 \pm 0,02	0,07 \pm 0,02	0,22 \pm 0,06	0,26 \pm 0,06	
		3	20,8	0,38 \pm 0,01	0,08 \pm 0,02	0,30 \pm 0,08	0,15 \pm 0,07	
		1 à 3		0,38 \pm 0,01	0,07 \pm 0,01	0,20 \pm 0,05	0,25 \pm 0,05	
	t	1	24,1	0,37 \pm 0,03	0,04 \pm 0,01	0,37 \pm 0,08	0,03 \pm 0,10	
		2	24,3	0,39 \pm 0,02	0,05 \pm 0,02	0,35 \pm 0,06	0,09 \pm 0,03	
		3	24,7	0,40 \pm 0,04	0,05 \pm 0,02	0,48 \pm 0,06	-0,03 \pm 0,04	
		1 à 3		0,39 \pm 0,02	0,05 \pm 0,01	0,40 \pm 0,05	0,03 \pm 0,04	
	FG	j	1	18,3	0,35 \pm 0,03	0,03 \pm 0,01	0,21 \pm 0,05	0,18 \pm 0,04
			2	19,2	0,47 \pm 0,02	0,04 \pm 0,01	0,13 \pm 0,03	0,38 \pm 0,05
3			21,1	0,35 \pm 0,02	0,04 \pm 0,02	0,21 \pm 0,07	0,18 \pm 0,10	
1 à 3				0,39 \pm 0,02	0,04 \pm 0,01	0,19 \pm 0,02	0,25 \pm 0,03	
t		1	25,0	0,34 \pm 0,03	0,01 \pm 0,01	0,30 \pm 0,04	0,05 \pm 0,07	
		2	25,2	0,44 \pm 0,04	0,02 \pm 0,005	0,28 \pm 0,05	0,17 \pm 0,08	
		3	26,0	0,35 \pm 0,02	0,03 \pm 0,004	0,36 \pm 0,03	0,02 \pm 0,03	
		1 à 3		0,37 \pm 0,01	0,02 \pm 0,004	0,31 \pm 0,01	0,08 \pm 0,02	
SV		j	1	20,9	0,40 \pm 0,02	0,03 \pm 0,004	0,16 \pm 0,05	0,27 \pm 0,06
			2	22,2	0,53 \pm 0,02	0,04 \pm 0,01	0,12 \pm 0,04	0,45 \pm 0,05
	3		24,5	0,41 \pm 0,03	0,03 \pm 0,005	0,16 \pm 0,07	0,28 \pm 0,10	
	1 à 3			0,45 \pm 0,03	0,03 \pm 0,003	0,15 \pm 0,03	0,34 \pm 0,05	
	t	1	28,8	0,46 \pm 0,01	0,01 \pm 0,003	0,26 \pm 0,12	0,22 \pm 0,12	
		2	30,0	0,50 \pm 0,05	0,02 \pm 0,01	0,20 \pm 0,03	0,32 \pm 0,07	
		3	31,4	0,46 \pm 0,02	0,02 \pm 0,01	0,40 \pm 0,07	0,09 \pm 0,07	
		1 à 3		0,47 \pm 0,02	0,02 \pm 0,01	0,29 \pm 0,04	0,21 \pm 0,07	

¹Secteur : DU = Duchesnay, FG = Forêt de Gatineau, SV = Sainte-Véronique.

²Trait. : Traitement j = jardiné, t = témoin.

³Pér. : Période.

⁴ST : Surface terrière marchande.

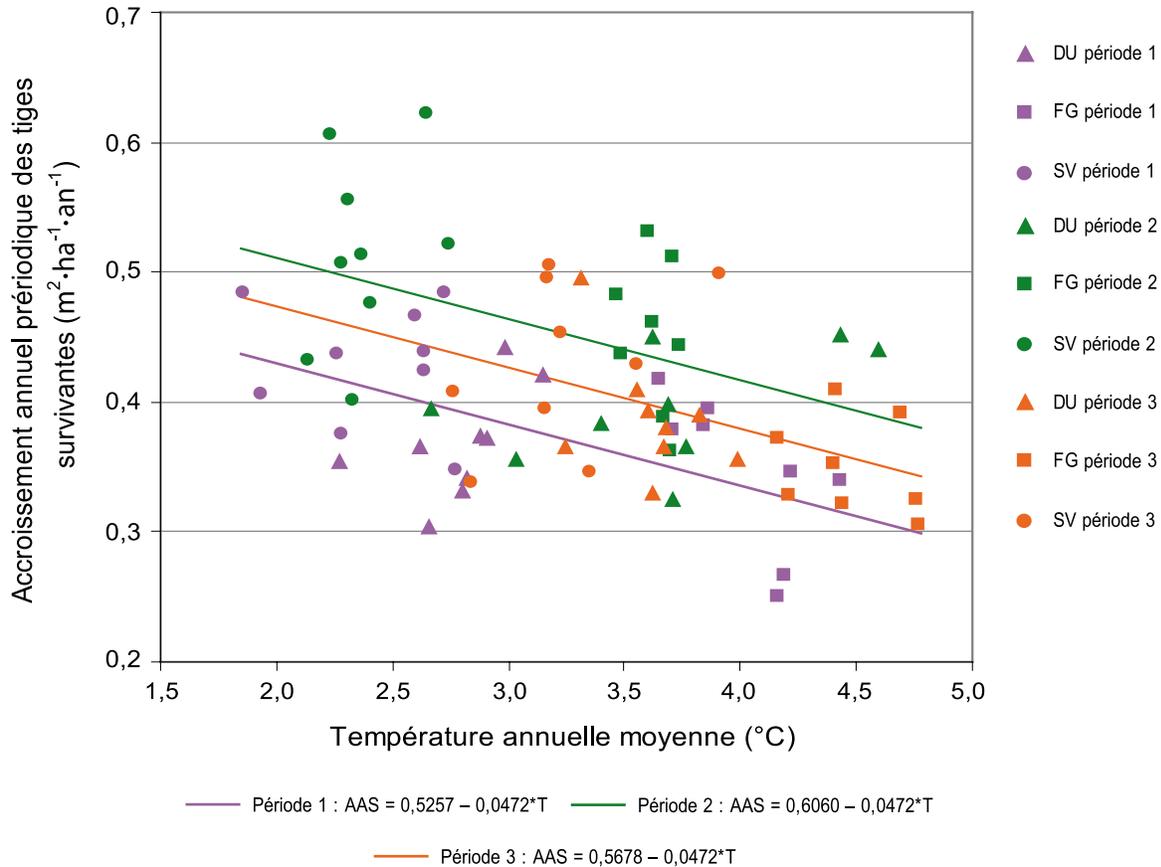


Figure 3. Relation entre l'accroissement annuel périodique en surface terrière des tiges survivantes (AAS, m²·ha⁻¹·an⁻¹) et la température annuelle moyenne par période (T, °C), pour les trois secteurs de l'étude (secteur DU = Duchesnay, secteur FG = Forêt de Gatineau, secteur SV = Sainte-Véronique; période 1 = 0-5 ans, période 2 = 6-10 ans, période 3 = 11-15 ans).

En enlevant les secteurs du modèle et en testant l'effet des variables climatiques sélectionnées (température et précipitations), le modèle retenu (pseudo-R² = 41,9 %) montre une corrélation négative entre la température moyenne annuelle et l'accroissement périodique net (Figure 4). Cet effet s'ajoute à ceux du traitement et de la période, semblables à ceux observés lors de l'analyse précédente.

2.3 Accroissement annuel périodique du diamètre des tiges

Les effets de la période, du secteur et du traitement sur l'accroissement annuel en dhp sont différents selon les classes de dhp (Tableaux 5 et 6). Cependant, il y a toujours un effet de la période, simple ou en interaction avec le traitement, sur l'accroissement dans chacune des classes de dhp. Quant à l'effet du secteur, il ressort seulement en interaction avec les deux autres facteurs pour les classes de dhp supérieures à 29 cm.

L'effet du traitement, en interaction avec la période, est significatif pour les perches ($p = 0,043$) et les moyens bois ($p = 0,011$), alors que pour les petits bois, il y a un effet simple du traitement ($p < 0,001$) et de la période ($p < 0,001$, Tableau 5). Pour les perches et les petits bois, l'accroissement est plus important dans les unités jardinées que dans les témoins, pour les trois périodes (Tableau 6). Dans le cas des moyens bois, cependant, l'augmentation de l'accroissement dans les unités jardinées n'est observée qu'aux deux premières périodes (Tableau 6). De plus, pour les perches et les moyens bois, l'accroissement à la deuxième période est significativement plus grand que les deux autres périodes dans les unités jardinées. Pour les petits bois, l'accroissement à la deuxième période est aussi plus important que pour les deux autres, mais pour les deux traitements confondus.

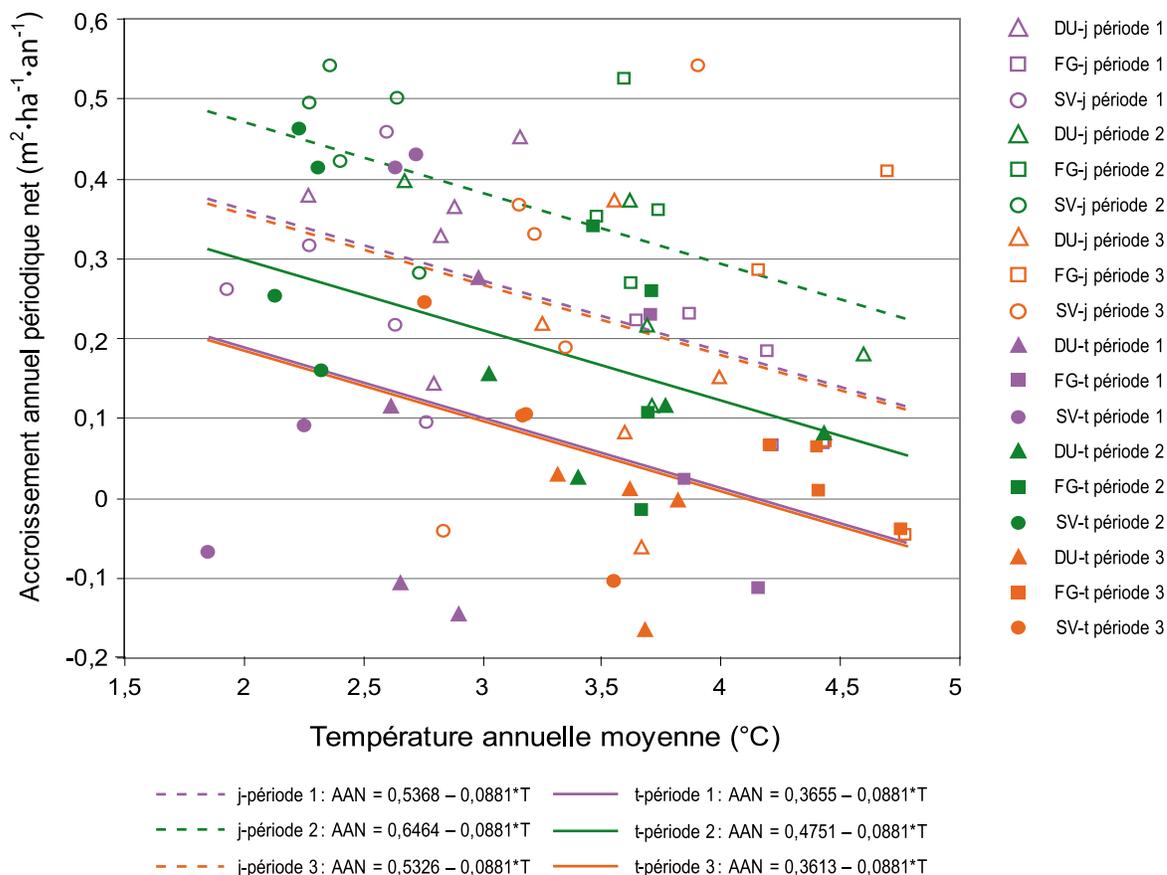


Figure 4. Relation entre l'accroissement annuel périodique net en surface terrière (AAN, $\text{m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$) et la température annuelle moyenne par période (T , $^{\circ}\text{C}$), pour chacun des traitements et des secteurs (période 1 = 0-5 ans, période 2 = 6-10 ans, période 3 = 11-15 ans; traitement j = jardiné, traitement t = témoin; secteur DU = Duchesnay, secteur FG = Forêt de Gatineau, secteur SV = Sainte-Véronique). À noter que les droites pour les périodes 1 et 3 sont presque identiques pour les deux traitements.

Tableau 5. Analyses de la variance sur les accroissements périodiques annuels en diamètre, par classe de dhp (Structure de variances-covariances retenue = Non structurée [*Unstructured*] pour la classe 39,1 – 49,0 cm, et Composantes de la variance [*Variance Components*] pour les autres classes de dhp). Les valeurs en gras identifient les facteurs significatifs pour lesquels un test de comparaisons multiples a été effectué.

Source de variation	DLn ¹	Perches (9,1 – 19,0 cm)		Petits bois (19,1 – 29,0 cm)		Moyens bois (29,1 – 39,0 cm)		Gros bois (39,1 – 49,0 cm)		Très gros bois (49,1 cm et +)	
		DLd ²	ρ	DLd	ρ	DLd	ρ	DLd	ρ	DLd	ρ
Secteur (S)	2	9,0	0,060	9,8	0,558	9,0	0,485	8,3	0,371	9,3	0,784
Traitement (T)	1	51,2	< 0,001	52,7	< 0,001	51,4	< 0,001	12,8	0,011	48,4	0,801
Période (P)	2	51,0	0,002	51,9	< 0,001	51,0	< 0,001	19,0	< 0,001	47,7	0,044
S x T	2	51,2	0,216	52,7	0,132	51,4	0,087	12,8	0,003	48,3	0,005
S x P	4	51,0	0,309	51,9	0,746	51,0	0,035	22,0	< 0,001	47,7	0,110
T x P	2	51,0	0,043	51,9	0,357	51,0	0,011	19,0	0,002	47,5	0,878
S x T x P	4	51,0	0,834	51,9	0,870	51,0	0,924	22,0	0,026	47,5	0,231

¹DLn = degrés de liberté du numérateur.

²DLd = degrés de liberté du dénominateur selon l'approximation de Kenward & Roger.

Tableau 6. Moyennes ajustées (\pm erreur-type) des facteurs significatifs des analyses de variance sur l'accroissement annuel du dhp des tiges, par classe de dhp. Verticalement, pour un facteur donné, les moyennes suivies de lettres distinctes présentent des différences significatives au seuil de 5 %. Horizontalement, la différence entre les moyennes des deux traitements, globalement ou pour une période fixée, est qualifiée par les lettres NS (différence non significative) et S (différence significative) dans la colonne Différence Jardiné-Témoin.

Classe de dhp	Secteur ¹	Période	Accroissement annuel du dhp (mm·an ⁻¹)				
			Traitement Jardiné	Traitement Témoin	Différence Jardiné-Témoin	Les deux traitements	
Perches (9,1 – 19,0 cm)	Tous	1	2,6 \pm 0,1 a	1,7 \pm 0,1 a	S		
		2	3,1 \pm 0,1 b	2,0 \pm 0,1 a	S		
		3	2,5 \pm 0,1 a	1,9 \pm 0,1 a	S		
Petits bois (19,1 – 29,0 cm)	Tous	1				2,7 \pm 0,1 a	
		2				3,2 \pm 0,1 b	
		3				2,6 \pm 0,1 a	
	Toutes	3,1 \pm 0,1	2,6 \pm 0,1	S			
Moyens bois ² (29,1 – 39,0 cm)	Tous	1	3,0 \pm 0,1 a	2,5 \pm 0,1 a	S		
		2	3,5 \pm 0,1 b	2,6 \pm 0,1 a	S		
		3	2,7 \pm 0,1 a	2,5 \pm 0,1 a	NS		
	DU	1				2,6 \pm 0,2 a	
		2				2,7 \pm 0,2 a	
		3				2,7 \pm 0,2 a	
	FG	1				2,7 \pm 0,2 a	
		2				3,3 \pm 0,2 b	
		3				2,4 \pm 0,2 a	
	SV	1				2,9 \pm 0,2 a	
		2				3,3 \pm 0,2 a	
		3				2,7 \pm 0,2 a	
	Gros bois ³ (39,1 – 49,0 cm)	DU	1	2,5 \pm 0,4 a	2,4 \pm 0,4 a	NS	
			2	2,7 \pm 0,3 a	2,6 \pm 0,3 a	NS	
			3	2,4 \pm 0,3 a	2,4 \pm 0,3 a	NS	
FG		1	3,2 \pm 0,4 ab	2,2 \pm 0,4 ab	NS		
		2	4,0 \pm 0,3 a	2,8 \pm 0,3 a	S		
		3	2,6 \pm 0,3 b	1,8 \pm 0,3 b	NS		
SV		1	2,8 \pm 0,4 ab	2,9 \pm 0,4 a	NS		
		2	3,8 \pm 0,3 a	3,2 \pm 0,3 a	NS		
		3	2,3 \pm 0,3 b	3,1 \pm 0,3 a	NS		
Très gros bois (49,1 cm et plus)	Tous	1				2,3 \pm 0,2 ab	
		2				2,7 \pm 0,2 a	
		3				2,2 \pm 0,2 b	
	DU	Toutes	2,3 \pm 0,3 a	2,7 \pm 0,3 a	NS		
	FG	Toutes	2,7 \pm 0,3 a	1,8 \pm 0,3 a	NS		
	SV	Toutes	2,3 \pm 0,3 a	2,7 \pm 0,3 a	NS		

¹ Secteur : DU = Duchesnay, FG = Forêt de Gatineau, SV = Sainte-Véronique.

² Pour les moyens bois, aucune différence significative n'a été détectée entre les secteurs pour chacune des périodes.

³ Pour les gros bois, aucune différence significative n'a été détectée entre les secteurs pour chacune des périodes et ce, autant dans les unités témoins que jardinées.

L'effet du secteur est significatif en interaction avec la période pour la catégorie des moyens bois ($p = 0,035$) et en interaction avec le traitement et la période pour les gros bois ($p < 0,026$, Tableau 5). Pour les moyens bois, cet effet se manifeste par un accroissement à la deuxième période significativement plus important dans le secteur FG qu'aux deux autres périodes et ce, autant dans les unités jardinées que témoins (Tableau 6). Dans les autres secteurs, l'accroissement est similaire entre les périodes. Pour les gros bois, l'accroissement à la deuxième période est significativement plus grand qu'à la troisième période, et ce, pour toutes les unités du secteur FG ainsi que pour les unités jardinées du secteur SV.

Pour la catégorie des très gros bois, on observe un effet de la période ($p = 0,044$, Tableau 5). L'accroissement à la deuxième période est significativement plus grand que celui de la troisième période, et ce, tous secteurs et traitements confondus (Tableau 6). Il y a également un effet du secteur en interaction avec le traitement ($p = 0,005$, Tableau 5). Toutefois, les tests de comparaisons multiples effectués n'ont pas permis de détecter de différences significatives, bien que la différence entre les unités jardinées et témoins semble être plus grande dans le secteur FG, et que celle entre les secteurs semble plus prononcée dans les unités témoins.

Chapitre trois

Discussion

3.1 Accroissement des tiges survivantes

L'accroissement des tiges survivantes est la principale composante de l'accroissement net du peuplement, qui reflète la réaction de celui-ci à l'effet d'éclaircie de la coupe de jardinage. Les résultats obtenus indiquent que la période et le secteur, mais pas le traitement, influencent l'accroissement en surface terrière des tiges survivantes à l'échelle du peuplement (Tableau 2). L'absence de différence d'accroissement des tiges survivantes entre les unités témoins et jardinées confirme donc que la coupe de jardinage a permis de maintenir cet accroissement, malgré une surface terrière réduite (Tableaux 1 et 2). Ce résultat a déjà été observé au Québec dans l'ensemble des blocs expérimentaux (BÉDARD et MAJGEN 2001, 2003; MAJGEN *et al.* 2005), ainsi que dans les coupes réalisées sur une base opérationnelle (BÉDARD et BRASSARD 2002, BÉDARD *et al.* 2004, GUILLEMETTE *et al.* en préparation). Ceci est dû à l'effet positif et généralement significatif du traitement sur l'accroissement en dhp des tiges (Tableau 5). En effet, la coupe de jardinage a stimulé l'accroissement en dhp des tiges appartenant aux plus petites classes de dhp (Tableau 6). Cet effet est très clair dans les trois secteurs pour les perches et les petits bois pendant les 15 premières années suivant la coupe, ainsi que pour les moyens bois pendant les 10 premières années suivant la coupe. Ainsi, puisque les tiges de ces catégories sont beaucoup plus nombreuses que celles des classes de diamètres supérieurs, l'effet d'un gain d'accroissement sur ces tiges a une grande influence sur l'accroissement en surface terrière. Ce gain de croissance s'expliquerait principalement par l'effet du dégagement des cimes des tiges de ces classes de dhp. L'hypothèse la plus plausible est que les gros et très gros bois, étant généralement en position dominante et subissant moins la concurrence avant le traitement que les plus petites tiges, ne profiteraient pas autant de la coupe que les plus petites tiges (JONES et THOMAS 2004, HARTMANN *et al.* 2009).

Dans le secteur SV, l'accroissement en surface terrière de l'ensemble des tiges survivantes des peuplements est plus important que dans les secteurs DU et FG, mais cet effet ne provient pas d'un

accroissement plus grand en dhp des tiges dans ce secteur (Tableaux 3 et 6). Cette différence est possiblement attribuable à une densité initiale des peuplements plus élevée dans ce secteur que dans les secteurs DU (différence de 15 %) et FG (18 %). Or, l'accroissement en surface terrière des tiges survivantes à l'échelle du peuplement de SV a dépassé de 18 et 21 % ceux des secteurs DU et FG, respectivement. Des tests ont été faits pour vérifier si la surface terrière initiale devait être incluse comme covariable dans les modèles, mais en présence de l'effet des secteurs, elle n'était pas significative. Il est donc impossible d'isoler l'effet du secteur de celui de la surface terrière initiale, puisque ces deux variables sont confondues.

Néanmoins, ces résultats indiquent que les peuplements de SV peuvent connaître un fort accroissement malgré une surface terrière plus importante. Les conditions de croissance y semblent donc plus favorables, peut-être en lien avec les dépôts de surface généralement plus épais (50 à 100 cm) que dans les deux autres secteurs. Par ailleurs, dans le secteur DU, les sols sont reconnus pour être particulièrement pauvres en cations basiques et avoir une forte acidité échangeable, ce qui pourrait réduire l'accroissement des érables à sucre (DUCHESNE *et al.* 2002, MOORE et OUMET 2006).

L'analyse de l'accroissement des tiges survivantes en fonction des variables climatiques (température et précipitations) a montré une corrélation significative et négative entre la température annuelle moyenne par période et l'accroissement périodique des tiges survivantes (Figure 3). Quant aux précipitations, aucune corrélation n'a été observée avec l'accroissement des tiges survivantes, mais il est possible que des températures plus élevées, combinées avec de plus faibles précipitations, soient des facteurs limitants pour l'accroissement durant la saison de croissance. D'ailleurs, dans une érablière du sud-ouest du Québec, TARDIF *et al.* (2001) ont observé une corrélation négative entre l'accroissement radial de l'érable à sucre et les températures du mois de juin, ainsi qu'une corrélation positive avec les précipitations pendant le même mois. Pour le hêtre à grandes feuilles, ces mêmes auteurs ont observé une corrélation négative de l'accroissement avec les températures de juillet.

Ces observations semblent indiquer qu'un stress hydrique durant la saison de croissance nuit à la croissance des tiges. Des températures plus élevées durant les mois d'hiver ont également déjà été corrélées avec une réduction de l'accroissement de l'érable à sucre (PAYETTE *et al.* 1996, TARDIF *et al.* 2001). Il est donc possible que des températures plus élevées en hiver et en été, se traduisant par une température annuelle plus élevée, réduisent l'accroissement des principales essences composant les peuplements étudiés.

L'accroissement des tiges survivantes à l'échelle du peuplement augmente significativement lors de la deuxième période suivant la coupe de jardinage et ce, pour les deux traitements et les trois secteurs (Tableau 3). Cette augmentation était prévisible, car des études rétrospectives réalisées à partir de carottes dendrométriques ont montré que l'effet de la coupe de jardinage sur l'accroissement en diamètre commence à être détectable de 1 à 3 ans après la coupe (JONES et THOMAS 2004, FORGET *et al.* 2007), et que l'effet maximal peut être atteint de 5 à 15 ans après la coupe, selon l'essence considérée (JONES *et al.* 2009). Une augmentation significative de l'accroissement des tiges survivantes lors de la deuxième période quinquennale a aussi été observée à la suite de coupes réalisées sur une base opérationnelle au Québec (GUILLEMETTE *et al.*, en préparation).

L'augmentation des accroissements observée à la seconde période n'est toutefois pas uniquement liée à la coupe de jardinage, puisque des gains en surface terrière et en dhp des tiges de plus de 19 cm à hauteur de poitrine se produisent autant dans les peuplements témoins que jardinés (Tableaux 3 et 6). Il y a donc une part d'effets aléatoires provenant de variables non contrôlées. Un examen attentif du tableau 4 montre que l'augmentation des accroissements obtenus dans les peuplements témoins à la deuxième période, comparativement à la première, est beaucoup plus importante dans le secteur FG (29 %) que dans les secteurs SV (9 %) et DU (5 %). De plus, dans le secteur FG, l'augmentation est comparable dans les unités témoins et jardinées. En revanche, dans les autres secteurs, l'augmentation observée est beaucoup plus faible dans les unités témoins que dans les unités jardinées. Toutefois, il faut également tenir compte du fait que la deuxième période d'observation dans le secteur DU n'est pas synchrone avec celle des secteurs SV et FG. Il est donc raisonnable de penser que la détection de cette augmentation significative peut avoir été causée par la variation temporelle des conditions de croissance, laquelle serait survenue surtout dans le secteur FG.

La période la plus favorable aurait été celle comprise entre les années 1989 et 1992, soit les années communes à toutes les mesures en seconde période quinquennale pour les blocs établis de 1984 à 1987 dans les secteurs FG et SV.

L'effet de la période dans le secteur FG pourrait être expliqué en partie par la corrélation négative entre la température annuelle moyenne par période et l'accroissement des tiges survivantes (Figure 3). En effet, la variation de la température moyenne est surtout évidente dans le secteur FG, où la normale climatique est de 3,9 °C : la température annuelle moyenne a été estimée à 4,0 °C pour la première période, à 3,6 °C pour la deuxième période et à 4,5 °C pour la troisième période. Ainsi, dans ce secteur, la plus faible température à la deuxième période aurait favorisé l'accroissement des tiges survivantes. Comme les précipitations sont moindres dans le secteur FG comparativement aux autres, il est possible que le bilan hydrique soit responsable du phénomène observé dans ce secteur. Une augmentation de la température seule pourrait avoir des effets négatifs plus importants dans les sites où les précipitations sont plus faibles que dans ceux où les précipitations sont plus abondantes.

Il est possible que d'autres phénomènes, liés ou non au climat, aient également contribué aux différences d'accroissement observées entre les périodes. Des études ont démontré, à partir de dendro-séries, qu'il y a eu une importante réduction de la croissance de l'érable à sucre dans plusieurs régions du Québec au début des années 1980 (PAYETTE *et al.* 1996, DUCHESNE *et al.* 2002, ROY *et al.* 2004). Ce phénomène serait attribuable aux différents facteurs liés au dépérissement de l'érable à sucre, incluant des épisodes de sécheresse, de dégel hivernal ou de gel printanier (PAYETTE *et al.* 1996). Selon la carte de relevés aériens du dépérissement en 1987 (MER 1988), les secteurs FG et SV se situaient dans la classe de dépérissement léger (11 à 25 % de feuillage manquant). Après cet épisode, l'accroissement des tiges a repris sur certains sites (PAYETTE *et al.* 1996, DUCHESNE *et al.* 2002, ROY *et al.* 2004). Il est donc possible que le faible accroissement à la première période corresponde aux années de dépérissement dans les secteurs FG et SV. Une reprise aurait suivi à la deuxième période, à partir du début des années 1990. Finalement, il est possible que le verglas survenu dans le secteur FG en 1998 ait également réduit l'accroissement de certaines tiges au cours de la troisième période. Par contre, comme on observe également une réduction de l'accroissement dans le secteur SV durant la même période, mais en l'absence de verglas, l'importance

de cet effet est difficile à quantifier. La réduction de l'accroissement observée à la troisième période est probablement davantage liée à l'augmentation de la concurrence entre les arbres, qui découle elle-même de l'augmentation de la densité du peuplement (ASSMANN 1970).

3.2 Recrutement

Le recrutement a été favorisé par la coupe de jardinage, puisque plusieurs tiges de petits diamètres ont profité des ouvertures (Tableau 3). Toutefois, on constate que le recrutement constitue une composante mineure de l'accroissement net du peuplement pour cette période de 15 ans. Bien que l'écart soit non significatif, le recrutement tend à être plus important dans le secteur DU que dans les autres. Ce résultat peut s'expliquer principalement par la composition en espèces des tiges recrutées. Un examen des données par essence (données non présentées) montre que la tendance obtenue dans le secteur DU serait attribuable à un recrutement plus important de hêtre à grandes feuilles, comparativement aux deux autres secteurs. Il est connu que cette espèce est souvent avantagée, grâce au développement de drageons qui peuvent persister pendant plusieurs années sous le couvert, pour ensuite profiter des ouvertures créées par la coupe ou par la mortalité des arbres. JONES *et al.* (1989) ont d'ailleurs montré que le nombre de drageons était corrélé positivement avec le nombre de tiges de hêtre dans le peuplement.

3.3 Mortalité

La mortalité observée est presque deux fois plus importante dans les unités témoins que dans les unités jardinées (Tableau 3). Ce résultat était prévisible, puisque le prélèvement a été effectué principalement dans la catégorie des tiges défectueuses et non vigoureuses, et que ces dernières ont une mortalité plus forte que les tiges vigoureuses (MAJCEN *et al.* 2005, FORTIN *et al.* 2008, GUILLETTE *et al.* 2009a). De plus, la surface terrière est beaucoup plus importante dans les unités témoins que dans les unités jardinées, et une forte densité peut accroître la mortalité.

La mortalité est aussi plus importante pendant la troisième période, et ce, autant dans les unités témoins que jardinées (Tableau 3). Ce résultat peut s'expliquer partiellement par l'augmentation de la surface terrière avec le temps, principalement chez les unités témoins. D'ailleurs, l'examen de la mortalité en surface terrière par secteur, traitement et période (Tableau 4) indique que c'est surtout dans les peuplements témoins que la mortalité est plus forte à la troisième période. Cependant, les unités témoins

des secteurs DU et FG ne sont pas très denses pour des érablières, avec une surface terrière d'environ $25 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$; celle des unités témoins du secteur SV dépasse $30 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$. En conséquence, il y a probablement des facteurs de station en cause, comme ceux mentionnés à la section 3.1.

Dans les unités jardinées, les patrons périodiques de mortalité des secteurs SV et FG sont semblables : la mortalité est un peu plus faible à la deuxième période quinquennale qu'aux deux autres, mais elle est semblable pour la première et la troisième période. Toutefois, dans les unités jardinées du secteur DU, la mortalité semble augmenter avec le temps. Ces différences entre secteurs n'ont pas été détectées par les tests statistiques, étant donné la forte variabilité de la mortalité entre les unités expérimentales. Néanmoins, les variations apparentes de mortalité entre les secteurs pourraient être attribuables à des différences de composition des peuplements. Entre autres, une forte mortalité du hêtre est observée dans le secteur DU depuis quelques années avec l'arrivée de la maladie corticale du hêtre, ce qui peut expliquer une partie du fort taux de mortalité totale observé dans toutes les unités de ce secteur.

3.4 Accroissement net

Durant la période de 15 ans, la coupe de jardinage a augmenté l'accroissement net comparativement aux témoins (Tableau 3). Cet effet résulte d'un accroissement en dhp plus grand principalement pour les perches et les petits bois, d'un recrutement plus important et d'une forte diminution de la mortalité. Cet effet a aussi été documenté dans d'autres secteurs (BÉDARD et MAJCEN 2001, 2003; MAJCEN *et al.* 2005). Toutefois, la présente étude montre en plus une variation importante de l'accroissement net entre les périodes (Tableau 3). En effet, le maximum d'accroissement des tiges survivantes a été observé à la seconde période quinquennale, avec des valeurs significativement supérieures à celles des deux autres. Cet effet semble à la fois causé par la coupe et par des conditions plus favorables à l'accroissement, tel que discuté à la section 3.1.

La grande variabilité de l'accroissement net entre les unités d'un même secteur (erreurs-types de 0,03 à $0,12 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$, Tableau 4) n'a pas permis de détecter des différences significatives entre les secteurs. Néanmoins, un examen des données indique que les secteurs DU et FG montrent des accroissements nets très semblables sur 15 ans, de l'ordre de $0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ dans les peuplements jardinés et de $0,03$ à $0,08 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ dans les peuplements témoins. Ces résultats pour les peuplements jardinés

sont à peine supérieurs aux résultats après 10 ans des coupes réalisées sur une base opérationnelle dans les régions correspondantes ($0,22 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$, GUILLEMETTE *et al.*, en préparation). Cependant, les résultats sur 15 ans peuvent masquer des différences dans la dynamique des secteurs DU et FG. En effet, tel que mentionné précédemment, l'accroissement net périodique semble corrélé négativement à la température annuelle moyenne (Figure 4), et cette dernière était plus élevée dans le secteur FG que dans les autres secteurs. Par contre, lors de la deuxième période, plus fraîche, autant les peuplements témoins que jardinés du secteur FG ont atteint un accroissement net important (Tableau 4). Conséquemment, il est plausible que les facteurs environnementaux, comme le stress hydrique associé à des températures plus élevées et des précipitations plus faibles, expliquent un plus faible accroissement dans le secteur FG que dans le secteur SV. Quant au secteur DU, l'accroissement net des peuplements témoins est demeuré faible à toutes les périodes, même si la surface terrière était modérée ($24 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$) et que la température était inférieure ou égale à celle du secteur FG. D'autres facteurs, tels que l'importance du hêtre, son fort taux de mortalité ainsi que la faible fertilité des sols, ont donc pu réduire l'accroissement net dans le secteur DU. Quant aux valeurs d'accroissement net sur 15 ans dans le secteur SV, elles sont nettement plus élevées ($0,34$ et $0,21 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ pour les peuplements jardinés et témoins, respectivement) que celles des secteurs DU ($0,25$ et $0,03 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$) et FG ($0,25$ et $0,08 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$). Ces résultats dans le secteur SV sont de beaucoup supérieurs aux résultats après 10 ans des coupes réalisées sur une base opérationnelle dans la même région écologique des collines du lac Nominique (3b), soit $0,17$ et $-0,09 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ pour les érablières traitées et témoins, respectivement (GUILLEMETTE *et al.*, en préparation).

Toutefois, les accroissements nets obtenus dans la présente étude sont inférieurs à ceux obtenus dans les régions avoisinantes. Par exemple, CROW *et al.* (1981), dans le nord du Michigan, obtiennent des accroissements nets de $0,40$ et $0,48 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ pour des peuplements composés à 70 à 80 % d'érable à sucre, avec des surfaces terrières résiduelles respectives de 16 et $21 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$. Cependant, les résultats obtenus dans le présent mémoire se rapprochent

davantage de ceux obtenus par LEAK (2003) et LEAK et GOVE (2008) au New Hampshire, dans un peuplement de feuillus composé principalement de hêtre à grandes feuilles, d'érable rouge et de bouleau à papier. Les accroissements nets moyens obtenus par LEAK et GOVE (2008) variaient respectivement de $0,26$ à $0,31 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ sur une période de 10 et 25 ans, pour une surface terrière résiduelle de $18 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ et avec une proportion de tiges de dimension sciage similaire à celle de la présente étude.

À partir des résultats obtenus, il est possible de projeter soit la rotation pour un objectif de production donné, soit la production pour un objectif de rotation déterminé. Cependant, c'est généralement l'objectif de rendement d'une coupe qui détermine sa faisabilité, souvent pour des raisons financières. Les résultats sur 15 ans ont démontré qu'il était possible d'obtenir un rendement de $5,1 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ sur des sites comme ceux du secteur SV, ce qui est parfois suffisant pour justifier une coupe. Pour un objectif de production plus important ou pour des sites ayant démontré un plus faible rendement, comme les secteurs FG et DU, il faut projeter le rendement au-delà de 15 ans afin d'estimer la rotation. Une hypothèse plausible de projection du rendement serait de conserver la moyenne observée de 0 à 15 ans. Une seconde hypothèse plus conservatrice serait de projeter le rendement de la dernière période quinquennale, lequel était plus faible que la moyenne des trois périodes. Selon ces deux hypothèses, dans les secteurs FG et DU, il serait possible de produire $5 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ en 20 à 23 ans, comparativement à 15 ans dans le secteur SV. Cependant, dans le contexte opérationnel de la forêt publique, l'objectif de rendement est généralement plus grand que $5 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$. S'il est de $7 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$, la rotation pourrait être de 20 ou de 22 ans dans le secteur SV, selon les deux hypothèses, respectivement. Dans les secteurs FG et DU, la rotation atteindrait de 28 à près de 35 ans selon les mêmes hypothèses de rendement. Cependant, au lieu d'attendre aussi longtemps, il pourrait être avantageux de revenir récolter plus tôt (20 à 25 ans), quitte à diminuer la surface terrière du peuplement à un niveau aussi bas que $16 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$. Cette intervention pourrait permettre de récupérer les arbres ayant une forte probabilité de mortalité à court terme, et favoriser davantage la production lors de la rotation suivante.

Conclusion

Les résultats de cette étude permettent à la fois de confirmer les effets positifs de la coupe de jardinage obtenus dans nos études précédentes (p. ex. : MAJČEN *et al.* 2005) et d'avoir une nouvelle perspective concernant les effets temporels et par secteur de ce traitement.

Premièrement, l'effet positif de la coupe de jardinage sur l'accroissement net des peuplements est relié à une réduction de la mortalité des tiges, à l'augmentation de l'accroissement en dhp des perches, des petits bois et des moyens bois (dhp de 9,1 à 39,0 cm) et, dans une moindre mesure, à une augmentation du recrutement.

Deuxièmement, les analyses effectuées par période quinquennale indiquent clairement qu'il y a une variation temporelle de l'accroissement, et que le maximum d'accroissement a été atteint durant la deuxième période. Contrairement aux attentes, cette augmentation a été constatée à la fois dans les unités jardinées et témoins. L'augmentation dans les unités jardinées était prévisible à cause de l'effet positif du traitement sur la croissance des tiges. Toutefois, le maximum observé durant la même période dans les unités témoins indique que des facteurs indépendants de la coupe seraient également en cause. Des corrélations négatives observées entre la température annuelle moyenne par période et l'accroissement des tiges survivantes permettent de poser l'hypothèse que ces variations de l'accroissement seraient en partie liées aux variations climatiques.

Troisièmement, les résultats obtenus indiquent que l'accroissement des tiges survivantes diffère significativement entre les secteurs. Même si les tests statistiques n'ont pas permis de détecter des différences significatives de l'accroissement net entre les secteurs, l'accroissement des tiges survivantes indique que le potentiel de production serait différent

selon le secteur. Ainsi, dans des conditions de station plus favorables comme celles du secteur de SV, il est possible d'obtenir une production moyenne de $5,1 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ au cours des 15 premières années après la première coupe de jardinage. Dans des conditions moins favorables comme celles des secteurs de DU et de FG, la production est moindre et se traduit par un gain de $3,75 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$ sur 15 ans. Des facteurs liés au climat, aux conditions de station et à la composition des peuplements expliquent probablement ce plus faible accroissement net.

Finalement, ces résultats de la première rotation ne représentent probablement pas la croissance optimale des peuplements soumis à des coupes de jardinage. En effet, l'accroissement net devrait se rapprocher davantage de l'accroissement brut (accroissement des tiges survivantes + recrutées) si, d'une rotation à l'autre, nous parvenons à améliorer la qualité des peuplements et la vigueur des tiges de chacune des classes de diamètre. Les interventions devraient permettre d'accroître la production, notamment par la réduction de la mortalité. Cependant, d'autres facteurs non contrôlés peuvent influencer la mortalité, comme la maladie corticale du hêtre qui se propage depuis quelques années notamment dans le secteur DU. Les résultats obtenus après 15 ans semblent indiquer que l'hypothèse de départ de rotations de 15 à 20 ans serait réaliste dans des conditions favorables comme celles du secteur SV, mais qu'il faut s'attendre à une production plus faible dans des stations aux conditions moins favorables, comme dans les secteurs DU et FG. Toutefois, l'allongement de la période de rotation au-delà de 25 ans n'entraînerait pas nécessairement un gain suffisant de production lors de la première rotation, si on pose l'hypothèse que la mortalité obtenue à la troisième période (11 à 15 ans) sera de la même ampleur ou qu'elle s'accroîtra durant les prochaines années.

Références bibliographiques

- ANGERS, V.A., C. MESSIER, M. BEAUDET et A. LEDUC, 2005. *Comparing composition and structure in old-growth and harvested (selection and diameter-limit cuts) northern hardwood stands in Quebec*. For. Ecol. Manage. 217 : 275-293.
- ARBOGAST, C., Jr., 1957. *Marking guides for northern hardwoods under the selection system*. USDA Forest Service, Lake States Forest Experiment Station, Station Paper No. LS-56, St. Paul, MN. 20 p. [<http://www.treeseearch.fs.fed.us/pubs/18828>].
- ASSMANN, E., 1970. *The principles of forest yield studies*. 1st English Edition. Traduit par S.H. Gardiner. Pergamon Press, Oxford. 506 p.
- 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. Code de diffusion : 2002-3117, Québec, 15 p. [<http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Bedard-Steve/Rapport-effets-reels-mrn.pdf>].
- BÉDARD, S. et Z. MAJCNEN, 2001. *Ten-year response of sugar maple-yellow birch-beech stands to selection cutting in Québec*. North. J. Appl. For. 18(4) : 119-126.
- BÉDARD, S. et Z. MAJCNEN, 2003. *Growth following single-tree selection cutting in Québec northern hardwoods*. For. Chron. 79(5) : 898-905.
- BÉDARD, S., S. MEUNIER, L. BLAIS et Z. MAJCNEN, 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.
- BLOUIN, J. et J.P. BERGER, 2003. *Guide de reconnaissance des types écologiques des régions écologiques 4d – Hautes collines de Charlevoix et du Saguenay et 4e – Plaine du lac Saint-Jean et du Saguenay*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Forêt Québec, Direction des inventaires forestiers, Division de la classification écologique et productivité des stations. Code de diffusion : 2003-3049. 202 p. [<http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/guide-ecologique-4de.pdf>].
- CROW, T.R., R.D. JACOBS, R.R. OBERG et C.H. TUBBS, 1981. *Stocking and structure for maximum growth in sugar maple selection stands*. USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station, Research Paper NC-199, St. Paul, MN, 16 p. [<http://nrs.fs.fed.us/pubs/720/>].
- DUCHESNE, L., R. OUMET et D. HOULE, 2002. *Basal area growth of sugar maple in relation to acid deposition, stand health and soil nutrients*. J. Environ. Qual. 31 : 1676-1683.
- ERDMANN, G.G. et R.R. OBERG, 1973. *Fifteen-year results from six cutting methods in second-growth northern hardwoods*. USDA Forest Service, North Central Forest Experiment Station, Research Paper NC-100. St. Paul, MN, 12 p. [<http://nrs.fs.fed.us/pubs/621>].
- FORGET, E., P. NOLET, F. DOYON, S. DELAGRANGE et Y. JARDON, 2007. *Ten-year response of northern hardwood stands to commercial selection cutting in southern Quebec, Canada*. For. Ecol. Manage. 242 : 764-775.
- FORTIN, M., S. BÉDARD, J. DEBLOIS et S. MEUNIER, 2008. *Accounting for error correlations in diameter increment modelling: a case study applied to northern hardwood stands in Quebec, Canada*. Can. J. For. Res. 38 : 2274-2286.
- GOSSELIN, J., 2002. *Guide de reconnaissance des types écologiques : Région écologique 3a – Collines de l'Outaouais et du Témiscamingue – Région écologique 3b – Collines du lac Nominingue*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction des inventaires forestiers. Code de diffusion : 2002-3090. 180 p.
- GOSSELIN, J., 2004. *Guide de reconnaissance des types écologiques – Région écologique 2a – Collines de la basse Gatineau*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction des inventaires forestiers. Code de diffusion 2004-3015. 186 p.
- GUILLEMETTE, F., S. BÉDARD et M. FORTIN, 2009a. *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, 2009b. *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. + annexes [[http://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)].
- GUILLEMETTE, F., M.-M. GAUTHIER, M.-C. LAMBERT et S. BÉDARD. En préparation. *Effets réels décennaux des coupes de jardinage pratiquées de 1995 à 1999 dans un contexte opérationnel*. Mémoire de recherche soumis au gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière (accepté).
- HARTMANN, H., M. BEAUDET, M. MAZEROLLE et C. MESSIER, 2009. *Sugar maple (Acer saccharum Marsh.) growth is influenced by close conspecifics and skid trail proximity following selection harvest*. For. Ecol. Manage. 258 : 823–831.
- JONES, T.A. et S.C. THOMAS, 2004. *The time course of diameter increment responses to selection harvests in Acer saccharum*. Can. J. For. Res. 34 : 1525-1533.
- JONES, R.H., R.D. NYLAND et D.J. RAYNAL, 1989. *Response of American beech regeneration to selection cutting of northern hardwoods in New York*. North. J. Appl. For. 6(1) : 34-36.
- JONES, T.A., G.M. DOMKE et S.C. THOMAS, 2009. *Canopy tree growth responses following selection harvest in seven species varying in shade tolerance*. Can. J. For. Res. 39 : 430-440.
- LAJOIE, P.G., 1967. *Étude pédologique des comtés de Hull, Labelle et Papineau (Québec)*. Direction de la recherche, ministère de l'Agriculture du Canada en collaboration avec le ministère de l'Agriculture et de la Colonisation de la province de Québec et le Collège MacDonald de l'Université McGill, Ottawa, 105 p. [http://www.irda.qc.ca/_ftbFiles/Etude_pedo/Etude_pedo_25.pdf].
- LEAK, W.B., 2003. *Best density and structure for uneven-aged northern hardwood management in New England*. North. J. Appl. For. 20(1) : 43-44.
- LEAK, W.B. et J.H. GOVE, 2008. *Growth of northern hardwoods in New England: A 25-year update*. North. J. Appl. For. 25 (2) : 103-105.
- 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, Research Paper NE-603, Broomall, PA. 36 p. [<http://treesearch.fs.fed.us/pubs/4421>].
- MAJGEN, Z., 1994. *Historique des coupes de jardinage dans les forêts inéquiennes au Québec*. Rev. For. Fr. XLVI(4) : 375-384.
- MAJGEN, Z., 1995. *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. 23 p. [<http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Majcen-Zoran/Memoire122.pdf>].
- MAJGEN, Z., 1996. *Coupe de jardinage et coupe de succession dans cinq secteurs forestiers : Accroissement quinquennal 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. [<http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Majcen-Zoran/Note70.pdf>].
- MAJGEN, Z., 1997. *Coupe de jardinage et coupe de succession dans trois secteurs : 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. [<http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Majcen-Zoran/Memoire129.pdf>].
- MAJGEN, Z. et S. BÉDARD, 2000. *Accroissement après 15 ans dans une érablière à la suite de coupes de jardinage de diverses intensités*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Note de recherche forestière n° 98. 12 p. [<http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/bedard-steve/Note98.pdf>].
- MAJGEN, Z. et Y. RICHARD, 1992. *Résultats après cinq 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 : Accroissement quinquennal en surface terrière*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 120. 22 p. [<http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Majcen-Zoran/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, Service de la recherche (Terres et Forêts). Mémoire n° 85. 333 p. [<http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Divers/Memoire085.pdf>].
- MAJGEN, 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 des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière, Mémoire de recherche forestière n° 96. 95 p. [<http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Majcen-Zoran/Memoire96.pdf>].
- MAJGEN, 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 forestière n° 148. 39 p. [<http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Bedard-Steve/Memoire148.pdf>].
- MER. 1988. *Dépérissement des érablières - survol de 1987 (carte échelle 1 : 250 000)*. Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Direction de la conservation.
- MOORE, J.D. et R. OUIMET, 2006. *Ten-year effect of dolomitic lime on the nutrition, crown vigor, and growth of sugar maple*. Can. J. For. Res. 36 : 1834-1841.
- PAYETTE, S., M.J. FORTIN et C. MORNEAU, 1996. *The recent sugar maple decline in southern Québec : probable causes deduced from tree rings*. Can. J. For. Res. 30 : 725-732.
- RAYMOND, R. G. LAFLAMME et G. GOUBOUT, 1976. *Pédologie du comté de Portneuf*. Agriculture Québec. Direction générale de la recherche et de l'enseignement. Service des sols. Bulletin technique n° 18. 164 p. [http://www.irda.qc.ca/_fb-files/etude_pedo/etude_pedo_44.pdf].
- RÉGNIERE, J., B. COOKE et V. BERGERON, 1995. *BioSIM : Un instrument informatique d'aide à la décision pour la planification saisonnière de la lutte anti-parasitaire – Guide d'utilisation*. Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Laurentides, Québec. Rapport d'Information LAU-X-116f. 67 p.
- ROY, G., G. LAROCQUE et C. ANSEAU, 2004. *Retrospective evaluation of the onset period of visual symptoms of dieback in five Appalachian sugar maple stand types*. For. Chron. 80 (3) : 375-383.
- SAS INSTITUTE INC., 2009. *SAS/STAT® 9.2 User's Guide, Second Edition*. Cary, NC : SAS Institute Inc.
- SAUCIER, J.-P., J.-F. BERGERON, P. GRONDIN et A. ROBITAILLE, 2001. *Zones de végétation et domaines bioclimatiques du Québec*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Carte couleur.
- SEYMOUR, R.S., A.S. WHITE et P.G. DEMAYNADIER, 2002. *Natural disturbance regimes in northeastern North America - evaluating silvicultural systems using natural scales and frequencies*. For. Ecol. Manage. 155 : 357-367.
- TARDIF, J., J. BRISSON et Y. BERGERON, 2001. *Dendroclimatic analysis of Acer saccharum, Fagus grandifolia, and Tsuga canadensis from an old-growth forest, southwestern Quebec*. Can. J. For. Res. 31 : 1491-1501.
- WESTFALL, P. H., R.D. TOBIAS, D. ROM, R.D. WOLFINGER, D. RUSSELL et Y. HOCHBERG, 1999. *Multiple Comparisons and Multiple Tests Using the SAS® System, Cary, NC : SAS Institute Inc., 1999*. 416 p.



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 du *Manuel d'aménagement forestier* ainsi que les modalités d'application des traitements sylvicoles. Selon ces objectifs, la Direction de la recherche forestière poursuit des travaux de recherche sur l'accroissement des forêts de feuillus après des coupes de jardinage, 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 érablières pour trois périodes quinquennales et dans trois régions.

**Ressources
naturelles**

Québec 