Éclaircie commerciale d'une bétulaie à bouleau à papier de 70 ans au Témiscamingue : résultats 10 ans après la coupe

par Christian Godbout

MÉMOIRE DE RECHERCHE FORESTIÈRE N° 180

DIRECTION DE LA RECHERCHE FORESTIÈRE

Québec

Éclaircie commerciale d'une bétulaie à bouleau à papier de 70 ans au Témiscamingue : résultats 10 ans après la coupe

par Christian Godbout, ing.f., M. Sc., *Ph. D.*

MÉMOIRE DE RECHERCHE FORESTIÈRE N° 180

DIRECTION DE LA RECHERCHE FORESTIÈRE

Correspondance : christian.godbout@mffp.gouv.qc.ca; 418-643-7994 p. 6655.

© Gouvernement du Québec
Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs
2018

Mandat de la DRF

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

Les mémoires de recherche forestière de la DRF

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

Vous pouvez adresser vos demandes à :

Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs
Direction de la recherche forestière
2700, rue Einstein, Québec (Québec)
Canada, G1P 3W8
Courriel : recherche.forestiere@mffp.gouv.qc.ca
Internet : https://mffp.gouv.qc.ca/les-forets/connaissances/recherche-developpement/

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

Godbout, C., 2018. Éclaircie commerciale d'une bétulaie à bouleau à papier de 70 ans au Témiscamingue : résultats 10 ans après la coupe. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière nº 180, 41 p.

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

ISSN : 1183-3912
ISBN : 978-2-550-82615-6
ISBN (PDF) : 978-2-550-82616-3
F.D.C.: SD 396.5
L.C. 242--015 (714)

Notes biographiques

Christian Godbout est ingénieur forestier, diplômé de l'Université Laval en 1980. Le même établissement lui décerne le diplôme de maître ès sciences (écologie et pédologie forestières) en 1983, puis celui de *Philosophiae doctor* (sciences forestières) en 1990. Ses études supérieures ont porté sur les symbioses racinaires chez les arbres. De 1990 à 1992, il est assistant de recherche à l'Institut de recherche en biologie végétale de l'Université de Montréal. En 1992, il est recruté à la Direction de la recherche forestière dans l'équipe de Jean-Louis Brown pour étudier la variabilité des sols en rapport avec les chablis ainsi que la composition et la structure de forêts décidues anciennes. Il concentre maintenant ses travaux sur la sylviculture du pin rouge, du pin blanc et du bouleau à papier.

Résumé

Traditionnellement, les peuplements de bouleaux à papier (*Betula papyrifera* Marsh.) sont aménagés par coupe totale lorsqu'ils atteignent la classe d'âge de 70 ans. Le report de la coupe totale de quelques décennies, en pratiquant une coupe d'éclaircie, pourrait permettre d'augmenter la valeur en bois d'œuvre du bouleau à papier de ces peuplements. Afin de connaître la réaction de croissance du bouleau à papier à la suite d'une telle coupe, une éclaircie mixte par le bas (ECB) et une éclaircie mixte par le haut (ECH) ont été pratiquées dans une bétulaie à bouleau à papier de 70 ans au Témiscamingue (prélèvement d'environ 50 % de la surface terrière marchande dans les deux cas). Étant donné que chacun des traitements ne comportait qu'une seule parcelle de 1 ha, l'analyse des résultats est strictement descriptive, et les comparaisons entre les traitements ne sont pas appuyées par des analyses statistiques.

Cette bétulaie présentait en moyenne 14 bouleaux à papier à l'hectare dans la classe de diamètre à hauteur de poitrine (DHP, mesuré à 1,3 m du sol) de 33,1 à 39,0 cm (soit les dimensions minimales de la classe de qualité de sciage B), et un seul bouleau à papier à l'hectare de DHP ≥ 39,1 cm (dimensions de la classe de qualité de sciage A). L'historique de cette bétulaie montre que l'accroissement en diamètre du bouleau à papier a constamment diminué au cours des 50 dernières années, à raison d'environ 1 cm par décennie. Pour la décennie suivant la coupe d'éclaircie, l'accroissement en diamètre du bouleau à papier a été plus grand dans les 2 parcelles éclaircies que dans la parcelle témoin non éclaircie. La différence a été plus marquée pour les petits diamètres (DHP de 13,1 à 17,0 cm : augmentation moyenne de 0,7 cm [ECB] et de 1,2 cm [ECH]) que pour les gros (DHP de 25,1 à 29,0 cm : augmentation moyenne de 0,3 cm [ECB] et de 0,6 cm [ECH]). La production nette des bouleaux à papier de taille marchande (DHP ≥ 9,1 cm) a été négative, tant dans les 2 parcelles éclaircies (–0,7 et –1,4 $m^2 \cdot ha^{-1}$) que dans la parcelle témoin (–0,4 $m^2 \cdot ha^{-1}$). Par contre, pour les bouleaux à papier de dimensions de sciage (DHP ≥ 23,1 cm), la production nette a été positive, tant dans les 2 parcelles éclaircies (0,3 et 0,8 $m^2 \cdot ha^{-1}$) que dans la parcelle témoin (1,4 $m^2 \cdot ha^{-1}$). La production nette négative est attribuable à une forte mortalité du bouleau à papier (de 1,8 à 2,6 $m^2 \cdot ha^{-1}$). La mortalité sur pied a progressé de la première à la deuxième période quinquennale après la coupe dans les 2 parcelles éclaircies, mais non dans la parcelle témoin. Cette mortalité serait causée par des champignons pathogènes du groupe de l'armillaire, pour lesquels on a dénombré 13 fois plus de sporophores 8 ans après la coupe dans les 2 parcelles éclaircies que dans la parcelle témoin. Afin de maximiser la production de bois d'œuvre de qualité dans cette bétulaie, il semble préférable de la laisser croître plutôt que de procéder à une coupe totale, et ce, qu'on effectue ou non une éclaircie. Les résultats de cette étude ne doivent cependant pas être généralisés à l'ensemble des bétulaies à bouleau à papier. D'autres études seront nécessaires pour juger de la pertinence de pratiquer l'éclaircie commerciale dans les bétulaies de plus de 60 ans.

Mots-clés : armillaire, *Betula papyrifera*, éclaircie commerciale, mortalité, rendement, recrutement

Abstract

*Traditionally, paper birch (*Betula papyrifera *Marsh.) stands are clearcut when trees reach the 70-year age class. Delaying the clearcutting by a few decades after a commercial thinning could increase the timber value of paper birch in these stands. To study the growth reaction of paper birch under this scenario, we conducted a free thinning from below (FTB) and a free thinning from above (FTA) in a 70-year-old paper birch stand in the Témiscamingue region (Québec, Canada). For both thinnings, approximately 50% of the basal area of merchantable trees was removed. Since each treatment was only applied to a single 1-ha plot, treatment comparisons could not be supported by statistics. Only a descriptive analysis of results is presented.*

On average, this paper birch stand contained 14 birch trees/ha in the 33.1–39.0 cm diameter at breast height (DBH, measured at 1.3 m) class, which is the minimal size for lumber quality class B, and only 1 birch tree/ha with a DBH ≥ 39.1 cm, which is the minimal size for lumber quality class A. Growth ring analysis shows that paper birch diameter increment decreased constantly by approximately 1 cm/decade over the past 50 years. During the first decade after thinning, paper birch diameter increment was greater in the two thinned plots than in the control plot. This difference was larger for smaller trees (13.1–17.0 cm DBH class: average increases of 0.7 cm [FTB] and 1.2 cm [FTA]) than for larger trees (25.1–29.0 cm DBH class: average increases of 0.3 cm [FTB] and 0.6 cm [FTA]). Net production of merchantable paper birch trees (DBH ≥ 9.1 cm) was negative in both thinned plots (–0.7 and –1.4 $m^2 \cdot ha^{-1}$) as well as in the control plot (–0.4 $m^2 \cdot ha^{-1}$). However, for lumber-sized paper birch trees (DBH ≥ 23.1 cm), net production was positive in both thinned plots (0.3 and 0.8 $m^2 \cdot ha^{-1}$) as well as in the control plot (1.4 $m^2 \cdot ha^{-1}$). The negative net production is attributed to high mortality of paper birch (1.8 to 2.6 $m^2 \cdot ha^{-1}$). An increase in mortality among standing trees occurred in the second 5-year period after thinning in the FTA and FTB plots, but not in the control plot. This mortality may be due to pathogenic fungi of the Armillaria *group, of which 13 times more sporophores were tallied 8 years after thinning in the FTA and FTB plots, compared with the control plot. To maximize the production of quality lumber in this birch stand, it would seem preferable to let it grow rather than to proceed with a clearcut, regardless of whether the stand is thinned or not. That said, results of the present study cannot be generalized to all paper birch stands. More studies are needed to assess whether commercial thinning is appropriate in birch stands aged more than 60 years.*

Keywords: Armillaria, Betula papyrifera*, commercial thinning, mortality, yield, recruitment*

Remerciements

Je désire remercier M. Jean-Louis Brown, ingénieur forestier, pour l'initiation de ce projet de recherche et l'établissement des parcelles. Mes remerciements s'adressent également à la Compagnie Commonwealth Plywood Inc., section de Tee Lake, en particulier à M. Pascal Gauthier, ingénieur forestier, pour avoir appuyé le projet financièrement et matériellement, en plus d'avoir effectué la coupe. Je remercie aussi M. Daniel Lebel, technicien forestier, pour son dévouement et son implication pour mener à bien les travaux de terrain et la saisie de données.

Je remercie M. Guy Brousseau, technicien forestier, ainsi que les étudiants Patrick Dorion, Luc Lajoie, Dominic Lemieux, Jérôme-Olivier Ouellet et Jean-Claude Tissaux, qui ont participé à l'établissement des parcelles et à la cueillette des données. Je remercie aussi M. Jean Noël, technicien forestier spécialisé en géomatique, pour l'illustration de l'emplacement du dispositif expérimental. Enfin, mes remerciements s'adressent aux 2 réviseurs anonymes pour leurs commentaires pertinents ainsi qu'à l'équipe de transfert de connaissances, en particulier Mmes Maripierre Jalbert et Nathalie Langlois pour le graphisme et la mise en page, ainsi que Mmes Denise Tousignant et Viviane St-Arnaud pour l'édition du document.

Les travaux dont les résultats sont présentés dans ce document ont été réalisés et financés par la Direction de la recherche forestière dans le cadre des projets successifs n^{os} 4530 (début : 1998; titulaire initial : Jean-Louis Brown), 0900 3063, et enfin, l'actuel projet n^{o} 142332021.

Table des matières

Résumé v

Abstract vi

Remerciements vii

Liste des tableaux xi

Liste des figures xii

Liste des planches xiii

Introduction 1

Chapitre premier – Matériel et méthodes 3
1.1 Site d'étude 3
1.2 Dispositif expérimental 3
1.3 Martelage 4
1.4 Coupe d'éclaircie 4
1.5 Mesures avant la coupe 4
1.6 Remesurages 4
1.7 Calculs 5
1.7.1 Sous-parcelles utilisées aux fins de calcul 5
1.7.2 Volume marchand brut 5
1.7.3 Hauteur dominante et indice de qualité de station 5
1.7.4 Historique de l'accroissement en diamètre du bouleau à papier 6
1.8 Production 6
1.9 Projection de la qualité de sciage des bouleaux à papier 6

Chapitre deux – Résultats 7
2.1 Caractéristiques du peuplement avant la coupe 7
2.1.1 Composition 7
2.1.2 Âge 10
2.1.3 Couvert dominant et indice de qualité de station 10
2.1.4 Historique de l'accroissement en diamètre du bouleau à papier 10
2.1.5 Mortalité 11
2.2 Résultats immédiatement après la coupe 11
2.2.1 Éclaircie mixte par le bas (ECB) 11
2.2.2 Éclaircie mixte par le haut (ECH) 12
2.2.3 Comparaisons entre les 2 types d'éclaircies après la coupe 12
2.3 Résultats 10 ans après la coupe 13
2.3.1 Patron de structure diamétrale du bouleau à papier 15
2.3.2 Tiges de DHP inférieur à 9,1 cm 15
2.3.2.1 Espèces arborescentes 15
2.3.2.2 Espèces arbustives 16

2.3.3 Accroissement en diamètre 17
2.3.3.1 Bouleau à papier 17
2.3.3.2 Érable à sucre 18
2.3.4 Bilan de production 18
2.3.4.1 Toutes espèces 18
2.3.4.2 Bouleau à papier 19
2.3.4.3 Érable à sucre 20
2.3.5 Qualité des arbres 20
2.3.5.1 Qualité de sciage 10 ans après la coupe 20
2.3.5.2 Branches adventives 22
2.3.5.3 Carie 22
2.3.5.4 Érable à sucre 22
2.3.6 Mortalité du bouleau à papier 22
2.3.7 Armillaire 22

Chapitre trois – Discussion 25
3.1 Caractéristiques de la bétulaie avant la coupe 25
3.2 Croissance après éclaircie 25
3.3 Production après éclaircie 26
3.4 Mortalité 26
3.5 Considérations sylvicoles 27

Conclusion 29

Références bibliographiques 31

Planches 35

Liste des tableaux

Tableau 1. Nombre de tiges, DHP moyen quadratique, surface terrière et volume marchand brut avant la coupe (AVC), après la coupe (APC) et 10 ans après la coupe pour l'ensemble des espèces, le bouleau à papier et l'érable à sucre de DHP ≥ 9,1 cm dans chacune des parcelles 8

Tableau 2. Nombre de tiges et surface terrière avant la coupe pour le bouleau à papier dans chacune des parcelles, par intervalle de DHP associé aux classes de qualité de sciage 8

Tableau 3. Nombre de bouleaux à papier à l'hectare avant la coupe, coupés, après la coupe, 10 ans après la coupe et morts 10 ans après la coupe, par intervalle de DHP associé aux classes de qualité de sciage, pour chacune des parcelles 14

Tableau 4. Nombre de tiges à l'hectare des pré-gaules (arbres de DHP de 0,1 à 1,0 cm) et des gaules (DHP de 1,1 à 9,0 cm) d'espèces arborescentes et arbustives dans la parcelle témoin et la parcelle éclaircie par le bas (ECB), 5 et 10 ans après la coupe 17

Tableau 5. Surface terrière après la coupe et 10 ans après la coupe et bilan de production pour l'ensemble des espèces, le bouleau à papier et l'érable à sucre, dans chacune des parcelles 20

Tableau 6. Nombre à l'hectare et proportion (entre parenthèses) de bouleaux à papier de DHP ≥ 23,1 cm, 10 ans après la coupe a) par intervalle de DHP et par classe de qualité maximale associée à chacun de ces intervalles; b) par classe de qualité de sciage 21

Tableau 7. Projection de la répartition entre les classes de qualité de sciage des bouleaux à papier de DHP ≥ 29,1 cm, 10 ans après la coupe, dans chacune des parcelles, lorsqu'ils atteindront un DHP de 39,1 cm 23

Tableau 8. Répartition par parcelle, par classe de DHP en début de période et par type de mortalité des bouleaux à papier par période quinquennale et 10 ans après la coupe 23

Tableau 9. Nombre de sporophores du groupe de l'armillaire présents dans les sous-parcelles carrées de 100 m^2 inventoriées sur une superficie de 50 m × 50 m à la 8^e année suivant la coupe 24

Liste des figures

Figure 1. Emplacement du dispositif expérimental 3

Figure 2. Structure diamétrale moyenne avant la coupe pour a) toutes les espèces, b) le bouleau à papier et c) l'érable à sucre 7

Figure 3. Structure d'âge de l'ensemble des bouleaux à papier échantillonnés à 1,3 m du sol sur une superficie de 30 m × 100 m à l'intérieur de la parcelle témoin (n = 104) 10

Figure 4. Relation entre l'âge du bouleau à papier mesuré à 1,3 m du sol et son DHP avant la coupe ... 10

Figure 5. Accroissement moyen par décennie a) du DHP et b) en surface terrière (sans écorce dans les deux cas) des bouleaux à papier appartenant aux classes de DHP de 15 cm (de 14,1 à 16,0 cm; n = 11), de 23 cm (de 22,1 à 24,0 cm; n = 18), de 32 cm (de 31,1 à 33,0 cm; n = 11) et de 44 cm (44,2 cm; n = 1) 11

Figure 6. Taux de mortalité avant la coupe a) du bouleau à papier et b) de l'érable à sucre, par classe de DHP, pour l'ensemble des 3 parcelles 12

Figure 7. Structure diamétrale a) de toutes les espèces et b) du bouleau à papier avant et après la coupe, dans les 2 parcelles éclaircies 13

Figure 8. Proportion (%) du nombre de bouleaux à papier prélevés lors de la coupe, par classe de DHP, dans les 2 parcelles éclaircies 13

Figure 9. Patron de structure diamétrale du bouleau à papier par classe de DHP, après la coupe (APC) et 10 ans après la coupe (10 ans), dans chacune des 3 parcelles 15

Figure 10. Évolution dans le temps du nombre d'érables à sucre, d'érables rouges et de bouleaux à papier de taille non marchande, par classe de DHP, dans la parcelle témoin et la parcelle éclaircie par le bas (ECB) 16

Figure 11. Croissance en diamètre du bouleau à papier sur une période de 10 ans dans chacune des parcelles : a) accroissement du DHP en fonction du DHP avant la coupe; b) fréquence cumulative du nombre de tiges en fonction des accroissements du DHP; c) moyenne de l'accroissement du DHP en fonction de la classe de DHP avant la coupe 18

Figure 12. Croissance en diamètre de l'érable à sucre (ERS) sur une période de 10 ans dans chacune des parcelles : a) accroissement du DHP en fonction du DHP avant la coupe, en comparaison avec celui du bouleau à papier (BOP); b) fréquence cumulative du nombre de tiges en fonction des accroissements du DHP (DHP ≤ 20 cm); c) moyenne de l'accroissement du DHP en fonction de la classe de DHP avant la coupe, en comparaison avec celui du BOP 19

Liste des planches

Planche 1. Illustration des parcelles 5 ans après la coupe 35

Planche 2. Degré de fermeture du couvert 10 ans après la coupe dans les 3 parcelles à l'étude 36

Planche 3. Type de sol sur lequel pousse la bétulaie 37

Planche 4. Diversité de l'écorce du bouleau à papier – I 38

Planche 5. Diversité de l'écorce du bouleau à papier – II 39

Planche 6. Sporophores et signes d'infection par l'armillaire sur le bouleau à papier 40

Planche 7. Dommages causés par la faune à de petits érables rouges 41

Introduction

Le bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.) est l'essence feuillue la plus abondante au Québec; elle constitue près de 11 % du volume de bois de la forêt publique québécoise et un peu plus du tiers de celui des feuillus, avec un volume marchand brut total estimé à près de 340 millions de mètres cubes (MRNFP 2004a). D'après ces derniers inventaires, les bétulaies à bouleau à papier de la classe d'âge de 70 ans, dans lesquelles le bouleau à papier constitue plus de 75 % de la surface terrière, occupent plus de 83 000 ha de la forêt publique québécoise dans les domaines bioclimatiques de l'érablière à bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britt.) et de la sapinière à bouleau jaune. Celles de la classe d'âge de 50 ans, quant à elles, occupent près de 31 000 ha dans ces 2 domaines bioclimatiques.

Traditionnellement, on pratique une coupe de régénération dans les peuplements de bouleau à papier lorsqu'ils atteignent la classe d'âge de 70 ans. Comme ces bétulaies n'ont pas fait l'objet d'éclaircies précommerciales ou commerciales, elles sont généralement denses, de sorte que le bouleau à papier a crû lentement en diamètre. Ainsi, lorsque la coupe est pratiquée, peu de bouleaux à papier satisfont aux critères minimaux de diamètre des classes A (40 cm) et B (34 cm) de qualité de sciage (MRNFP 2004b). L'éclaircie commerciale est une avenue sylvicole qui permettrait d'augmenter la quantité de gros bouleaux à papier lors de la coupe finale et de maximiser la valeur des produits. Elle permettrait de prolonger la croissance en diamètre des bouleaux à papier, croissance qui pourrait bénéficier de la baisse de densité du peuplement résiduel, et ainsi permettre d'obtenir un plus grand nombre de bouleaux à papier de fortes dimensions lors de la coupe finale. Comme le bouleau à papier peut vivre plus de 200 ans (Godbout 2008), laisser le peuplement continuer de croître pour une période additionnelle de 30 à 40 ans, soit jusqu'à l'âge de 100 à 110 ans, ne pose pas de problème quant à la longévité. De plus, le prélèvement par l'éclaircie des essences non désirées et des tiges de moindre qualité permettrait d'accroître la représentativité du bouleau à papier dans le peuplement résiduel, ainsi que sa qualité. Comme la production du peuplement est alors répartie sur des tiges d'essences désirées et de qualité, en principe, sa valeur est maximisée.

Toutefois, il est difficile de prévoir si une éclaircie commerciale pratiquée dans des bétulaies à bouleau à papier de 70 ans qui n'ont jamais été aménagées augmentera le rendement en billes de sciage de qualité. D'une part, on reconnaît souvent que ces peuplements sont matures ou près de leur maturité et que leur vigueur a commencé à décliner (Dana 1909, Gilbert et Jensen 1958, Safford 1983). D'autre part, la vigueur et la qualité des tiges résiduelles après une éclaircie peuvent se dégrader en raison du phénomène communément observé du dépérissement du bouleau à papier après la coupe (Hall 1933, Nash *et al.* 1951, Roy *et al.* 2001, Safford *et al.* 1990). C'est d'ailleurs pourquoi Marquis *et al.* (1969) recommandent d'éviter de pratiquer des coupes partielles de forte intensité dans les bétulaies à bouleau à papier de plus de 60 ans, car le dépérissement survient inévitablement parmi les bouleaux parvenus ou presque à maturité. Les bénéfices potentiels de l'éclaircie commerciale pratiquée dans les bétulaies à bouleau à papier de 70 ans et plus restent donc incertains. Nous ne connaissons qu'une seule étude publiée sur l'éclaircie commerciale d'une bétulaie à bouleau à papier de plus de 50 ans (Blouin *et al.* 2000, Côté *et al.* 2007, Ruel *et al.* 2012). Celle-ci conclut que la pertinence de l'éclaircie reste à prouver. Quelques autres études relatent la croissance du bouleau à papier, mais à la suite de coupes partielles déjà effectuées ou pour des peuplements comportant une faible proportion de bouleaux à papier (Godbout 2002, Leak et Gove 2008).

Afin de connaître la réaction des bétulaies à bouleau à papier de 70 ans et plus à l'éclaircie commerciale, ce traitement a été pratiqué dans une bétulaie à bouleau à papier de 70 ans au Témiscamingue. Les principaux objectifs de cette étude sont de déterminer si, à la suite de l'éclaircie, l'accroissement en diamètre du bouleau à papier augmente, la mortalité des bouleaux à papier résiduels est importante et la production de bouleaux à papier de qualité A et B de sciage est meilleure. Étant donné que chaque traitement n'a été appliqué que dans une seule parcelle et donc, qu'il n'y a pas de répétitions, l'étude se limite strictement à une analyse descriptive des résultats et les comparaisons ne sont pas appuyées par des analyses statistiques.

Chapitre premier

Matériel et méthodes

1.1 Site d'étude

La forêt d'expérimentation est située au Témiscamingue, à environ 45 km à l'est de la ville de Témiscaming (figure 1). Selon le 3e inventaire décennal (MRNFP 2003), c'est une bétulaie à bouleau à papier et à érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh.), de strate cartographique ERBB A2 70, établie sur un dépôt de till épais (1A), à drainage bon à modéré. Elle est située sur le milieu d'une pente qui varie de faible à douce, à 330 m d'altitude, sur le versant est d'une colline dont le sommet atteint 390 m. Elle fait partie du sous-domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune de l'Ouest et de la sous-région écologique des collines du lac Kipawa (3aS) (Saucier *et al.* 2011). La température moyenne annuelle est de 2,5 °C, le nombre de degrés-jours est de 1 350, la longueur de la saison de végétation est de l'ordre de 170 jours, l'indice d'aridité oscille entre 125 et 200 et les précipitations annuelles moyennes varient de 900 à 1 000 mm, avec une fraction nivale de 25 %. La forêt évolue vers l'érablière à bouleau jaune et le type écologique correspondant est le FE32 (Gosselin *et al.* 1999). La bétulaie serait issue d'un feu de 1922, selon d'anciens documents d'inventaire forestier.

1.2 Dispositif expérimental

À l'été 1998, 3 parcelles carrées de 100 m × 100 m chacune ont été délimitées au théodolite et alignées les unes par rapport aux autres à cause de contraintes opérationnelles. Chacune des parcelles était entourée par une bande de protection d'au moins 25 m de largeur et subdivisée en sous-parcelles carrées de 10 m × 10 m par des piquets, puis en sous-sous-parcelles de 5 m × 5 m à l'aide de chaines à mesurer étendues sur le sol. Les 3 traitements, soit une éclaircie mixte par le bas (ECB), une éclaircie mixte par le haut (ECH) et un témoin sans coupe (voir la section 1.3 pour plus de détails) ont été assignés dans l'ordre aux parcelles, sans égard à leurs caractéristiques dendrométriques, topographiques ou pédologiques.

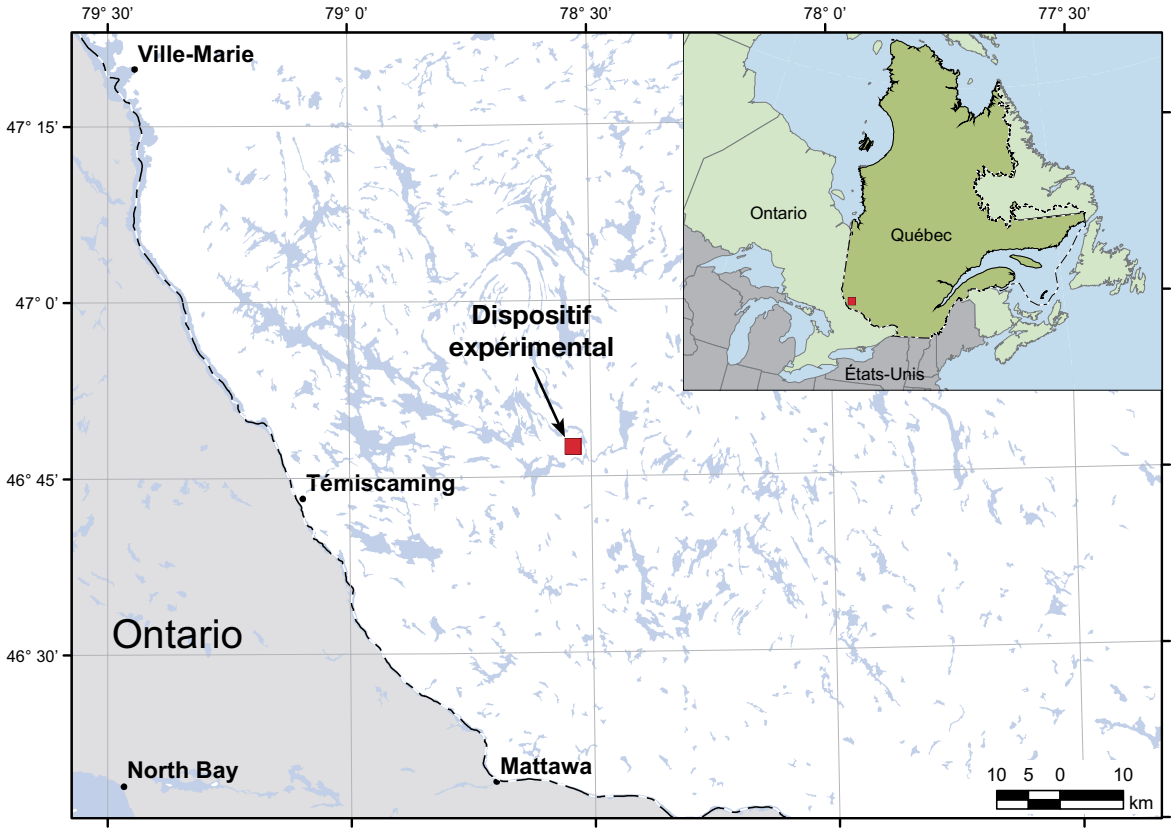

Figure 1. Emplacement du dispositif expérimental.

1.3 Martelage

Comme le but de l'éclaircie était de maximiser la croissance des arbres résiduels plutôt que la production à l'hectare, une éclaircie de forte intensité a été pratiquée pour maximiser le dégagement des houppiers des arbres résiduels, en recherchant une distribution spatiale uniforme des tiges résiduelles. Les quelques pins blancs (*Pinus strobus* L.), pins rouges (*Pinus resinosa* Ait.) et chênes rouges (*Quercus rubra* L.) du peuplement ont été laissés sur pied.

Le traitement ECB visait à conserver les gros bouleaux à papier dominants et à dégager leur houppier en enlevant des tiges codominantes, de même que des tiges intermédiaires et opprimées situées à proximité de la tige éclaircie, afin de maximiser la disponibilité en eau et en éléments nutritifs pour celle-ci. Un martelage positif des tiges à laisser sur pied a été effectué avant le martelage négatif des tiges à prélever. Pour le martelage positif, l'ordre des priorités a été l'essence (privilégier le bouleau à papier), la vigueur (conserver les arbres vigoureux), le diamètre (conserver les gros arbres), puis la qualité (conserver les arbres présentant le moins de défauts).

Le traitement ECH visait à prélever les gros bouleaux à papier et à éclaircir le reste des tiges. Un martelage négatif des tiges à prélever a été pratiqué en priorisant, dans l'ordre : l'essence (privilégier les espèces autres que le bouleau à papier), la vigueur (récolter les arbres les moins vigoureux), le diamètre (récolter les gros arbres), puis la qualité (récolter les arbres de moindre qualité).

1.4 Coupe d'éclaircie

L'abattage à la scie mécanique a été réalisé par un bûcheron en septembre 1998. Il a été effectué en utilisant les techniques d'abattage directionnel, afin de minimiser les bris au houppier et les blessures au fût des arbres résiduels. Les arbres ont été débardés à l'aide d'une petite débusqueuse (Timberjack 250). Seuls les arbres feuillus abattus possédant au moins une bille de bois d'œuvre ont été débardés après avoir été tronçonnés sur place à environ 18 cm au fin bout, puis ébranchés. Les quelques conifères abattus ont été débardés en longueur après ébranchage. Les arbres et les portions d'arbres inutilisés ont été laissés sur le parterre de coupe après avoir été sectionnés pour faciliter le déplacement à pied dans les parcelles.

Lors du débusquage, une attention particulière a été portée afin de minimiser les blessures aux arbres résiduels situés à l'intérieur des parcelles. Ainsi, les sentiers principaux ont été positionnés à l'extérieur des parcelles, dans les bandes de protection. Dans la parcelle ECB, la débusqueuse n'a effectué que de courtes incursions. La parcelle ECH, quant à elle, a été traversée par 3 sentiers de débusquage secondaires espacés d'environ 25 m.

1.5 Mesures avant la coupe

Chacune des tiges marchandes (de diamètre à hauteur de poitrine [DHP, mesure à 1,3 m au-dessus du sol] ≥ 9,1 cm) a été numérotée, et son DHP a été mesuré au millimètre près à l'aide d'un galon circonférentiel métallique. La hauteur totale a été mesurée à l'aide d'un clinomètre électronique (Vertex) sur plus de 300 bouleaux à papier et plus de 50 frênes noirs (*Fraxinus nigra* Marsh.), de même que sur près de 100 érables à sucre, sélectionnés dans l'ensemble des parcelles et couvrant l'étendue des valeurs de DHP. Les tiges de moins de 9,1 cm de DHP ont été inventoriées dans la parcelle témoin uniquement, en échantillonnant systématiquement une sous-parcelle sur quatre. Les tiges de la classe de DHP de 0,1 à 1,0 cm (pré-gaules) et celles de DHP de 1,1 à 9,0 cm (gaules, par classe de 2 cm) ont été dénombrées pour chaque espèce.

À la fin de l'été 1998, afin de déterminer la structure d'âge et l'historique de l'accroissement en diamètre, tous les bouleaux à papier de DHP ≥ 9,1 cm des 30 dernières sous-parcelles (superficie totale de 30 m × 100 m) de la parcelle témoin ont été sondés à la tarière à 1,30 m du sol. L'âge à cette hauteur a été déterminé en laboratoire sur les carottes de bois fraîches, en comptant le nombre de cernes à l'aide d'une loupe binoculaire sur une face taillée au scalpel. La largeur des cernes a été mesurée sur des images numérisées à l'aide du logiciel d'analyse de cernes WinDendro^{MC} v6.3b (Régent Instruments Inc.). Pour les carottes de bois prélevées de façon décentrée par rapport au cœur, seules celles dont l'estimation des années manquantes ne dépassait pas 7 ans, sur la base du rayon de courbure et de la largeur des derniers cernes, ont été retenues. Au total, 104 bouleaux à papier ont été inclus dans l'analyse.

1.6 Remesurages

Le DHP des tiges marchandes a été remesuré 10 ans après la coupe. Les tiges de DHP < 9,1 cm ont aussi été dénombrées 5 et 10 ans après la coupe dans la parcelle témoin et la parcelle ECB, en échantillonnant 20 sous-parcelles distribuées uniformément dans l'ensemble de la parcelle. Les bouleaux à papier et les bouleaux jaunes ont été classifiés selon les normes ministérielles de classification des tiges d'essences feuillues (MRNFP 2004b). Pour les parcelles éclaircies, la classification a eu lieu lors

du remesurage de 5 ans et a été réévaluée lors du remesurage de 10 ans pour les arbres présentant de nouveaux défauts. Pour la parcelle témoin, la classification a eu lieu lors du remesurage de 10 ans. Les branches sur les premiers 5 m du fût des bouleaux à papier et des bouleaux jaunes de DHP ≥ 23,1 cm ont été dénombrées 12 ans après la coupe, et l'abondance de branches adventives situées au-dessus de 5 m a été évaluée visuellement.

Les sporophores des espèces de champignons du groupe de l'armillaire ont été dénombrés 8 ans après la coupe, durant la 3e semaine du mois de septembre, alors qu'ils étaient généralement matures ou même sénescents. Dans la parcelle témoin, une superficie de 50 m × 50 m a été inventoriée au complet. Dans les parcelles éclaircies, la même superficie a été inventoriée en échantillonnant 5 sous-parcelles de 10 m × 10 m non adjacentes et bien réparties spatialement, car la végétation de sous-bois était dense et il devenait fastidieux de dénombrer les nombreux sporophores.

1.7 Calculs

Étant donné que chacun des traitements (ECB, ECH, témoin) pratiqués dans cette étude n'a pas fait l'objet de répétitions, les comparaisons entre ceux-ci ne sont pas appuyées par des analyses statistiques. Cette étude se limite donc à une analyse descriptive des résultats.

1.7.1 Sous-parcelles utilisées aux fins de calcul

Un chablis est survenu le 16 juillet 2006 sur un des côtés de la parcelle témoin, entraînant de la mortalité à l'intérieur comme à l'extérieur de la parcelle et modifiant les conditions de croissance au pourtour du chablis. En conséquence, les 7 sous-parcelles affectées par le chablis et les 14 sous-parcelles immédiatement contiguës ont été exclues des calculs. Comme la parcelle témoin était amputée d'une partie de sa superficie et qu'un seul traitement était associé à une parcelle unique, il a été décidé d'amputer aussi les 2 parcelles éclaircies d'une fraction équivalente de leur superficie, en enlevant les sous-parcelles dont les caractéristiques de terrain ou de sol étaient différentes des autres. Cela a permis d'éviter que les comparaisons entre les parcelles soient affectées par des différences de drainage, de pente ou de superficie. Ainsi, la portion présentant une dénivellation abrupte a été exclue de la parcelle ECB, et la portion associée à une zone humide comportant des frênes noirs a été retranchée de la parcelle ECH. Dans la parcelle témoin, quelques autres sous-parcelles à l'une des extrémités ont été exclues à cause de leur drainage imparfait. Au total, 25 sous-parcelles ont été retirées de chacune des parcelles pour les calculs. Une meilleure uniformité entre les parcelles a ainsi été obtenue quant au relief et au drainage.

Les calculs sont donc basés sur des parcelles d'une superficie de 0,75 ha. Les résultats ont ensuite été rapportés à l'hectare, sauf pour le coefficient de distribution du bouleau à papier, qui a été calculé sur l'hectare au complet de chacune des parcelles. De même, pour les tiges de DHP < 9,1 cm, seulement 15 des 20 sous-parcelles échantillonnées (75 %) ont été retenues aux fins de calculs. Des calculs parallèles ont été effectués en utilisant les données des 100 sous-parcelles des parcelles éclaircies. Les résultats de croissance et de production obtenus avec 100 ou 75 sous-parcelles ne montraient que de minimes différences. Nous avons quand même préféré présenter les résultats en n'utilisant que ces 75 sous-parcelles.

1.7.2 Volume marchand brut

Le volume marchand brut (VMB) a été calculé en utilisant le tarif de cubage de Perron (1983) et en appliquant une relation hauteur-diamètre (HD). Pour les espèces autres que le bouleau à papier et le frêne noir, les relations HD du plan de sondage 07103 du 3e inventaire décennal du Ministère ont été utilisées, car ce plan de sondage estimait mieux la relation HD de l'érable à sucre de nos parcelles que le plan de sondage 08151 qui couvre le territoire où est situé le dispositif. Pour le bouleau à papier et le frêne noir, une relation HD locale a été calculée à partir de la hauteur totale et du DHP mesurés avant la coupe sur 331 bouleaux à papier et 53 frênes noirs échantillonnés dans les 3 parcelles. Le modèle mathématique $H = a + b \times DHP + c/DHP$ a été utilisé pour exprimer la relation entre le DHP et la hauteur totale (H). Les équations obtenues sont les suivantes :

Bouleau à papier :
$H = 23{,}622 + 0{,}043 \times DHP + 97{,}058/DHP$
$R^2 = 0{,}50$

Frêne noir :
$H = 25{,}042 + 0{,}078 \times DHP - 139{,}057/DHP$
$R^2 = 0{,}79$

1.7.3 Hauteur dominante et indice de qualité de station

La hauteur dominante et l'indice de qualité de station pour le bouleau à papier ont été calculés en sélectionnant les 75 plus gros bouleaux à papier par parcelle (ce qui équivaut aux 100 plus grosses tiges à l'hectare) et en utilisant les formules de Pothier et Savard (1998). Comme l'oppression dans la croissance des bouleaux à papier n'a pas été mesurée ni corrigée, l'indice de qualité de station calculé

était possiblement plus petit que le potentiel réel de la station. En effet, le bouleau à papier est une essence intolérante à l'ombre, donc sujette à des retards de croissance en présence de compétition, et le secteur où se situent les parcelles a subi des infestations de la livrée des forêts (*Malacosoma disstria* Hübner) dans le passé.

1.7.4 Historique de l'accroissement en diamètre du bouleau à papier

La somme des largeurs des cernes annuels de chacune des carottes de bois a été ajustée afin qu'elle corresponde au rayon sans écorce issu de la mesure du DHP de l'arbre. Ainsi, chacune des valeurs de largeur de cerne a été multipliée par le rapport de la moitié du DHP sans écorce sur la somme des largeurs des cernes du rayon. Ces valeurs ajustées ont été regroupées rétroactivement à partir de 1998 pour estimer l'accroissement par décennie, puis multipliées par 2 pour estimer l'accroissement décennal en diamètre sans écorce.

1.8 Production

La production (ou le rendement) se définit généralement comme la surface terrière ou le volume produit sur une superficie donnée (généralement 1 ha) par les arbres marchands sur une période de temps donnée. Elle a été calculée en surface terrière pour la période de 10 ans suivant la coupe et subdivisée en 3 composantes afin de distinguer comment celles-ci contribuent au rendement global. La production par accroissement des survivants (ACC SURV) est définie comme l'accroissement en surface terrière des tiges vivantes présentes immédiatement après la coupe et qui sont demeurées vivantes 10 ans plus tard. Cette composante permet d'apprécier la production attribuable à la croissance des tiges. La production par recrutement (REC) est définie comme la surface terrière des nouvelles tiges de DHP ≥ 9,1 cm, soit les tiges de DHP < 9,1 cm immédiatement après la coupe et qui, 10 ans plus tard, sont vivantes et de DHP ≥ 9,1 cm. Cette composante représente la contribution de l'apport de nouvelles tiges marchandes au rendement global. La mortalité (MORT) est définie comme la surface terrière des tiges vivantes de DHP ≥ 9,1 cm immédiatement après la coupe et qui sont mortes 10 ans plus tard. Contrairement à l'ACC SURV et au REC, la MORT représente une perte de rendement. La production nette ($PROD_{nette}$) est le rendement de la forêt :

$$PROD_{nette} = ACC\ SURV + REC - MORT$$

La production des bouleaux à papier de dimensions de bois d'œuvre a aussi été calculée en fixant la limite inférieure du DHP à 23,1 cm au lieu de 9,1 cm.

La mortalité est basée sur le DHP des arbres en début de période, et non sur le DHP 10 ans après la coupe. Donc, même si l'arbre a crû avant de mourir pendant les 10 ans suivant la coupe, cette croissance n'est pas comptabilisée. Cela n'affecte en rien la valeur de la production nette, mais diminue légèrement les valeurs de la production par accroissement des survivants et de la mortalité par rapport à une période de référence plus courte (5 ans, par exemple).

1.9 Projection de la qualité de sciage des bouleaux à papier

Afin d'estimer le potentiel du peuplement actuel à produire des bouleaux à papier de qualité en le laissant croître encore pendant plusieurs décennies, la classe de qualité des bouleaux à papier de DHP ≥ 29,1 cm 10 ans après la coupe a été estimée lorsque leur DHP atteindrait 39,1 cm, soit le DHP minimal requis pour que l'arbre fasse partie de la classe A de sciage. Les critères retenus pour cette projection de la qualité ont été les suivants :

1) Classement appliqué selon les critères de réduction en volume édictés pour un DHP de 39,1 cm;
2) On suppose que les nœuds actuellement présents sur la face de classification auront disparu lorsque les bouleaux à papier auront atteint le DHP de 39,1 cm;
3) Lorsque la tige actuelle comporte une fente avec pourriture ou un signe de carie (charbon, carie chancreuse, chancre, sporophore, autres défauts avec pourriture), la classe D est assignée;
4) Lorsque la tige actuelle comporte une fente sans pourriture longue de plus de 1 m, la classe C est assignée;
5) Lorsque la tige actuelle comporte une fourche dont le creux se situe à 4,3 m du sol ou moins, la classe de qualité maximale suivante est assignée, tout en tenant compte des autres critères : plus de 4,3 m du sol = classe A; de 4,3 à 3,6 m = classe B; de 3,0 à 3,6 m = classe C; moins de 3,0 m = classe D.

Chapitre deux

Résultats

2.1 Caractéristiques du peuplement avant la coupe

2.1.1 Composition

Avant l'éclaircie, pour l'ensemble des 3 parcelles, la bétulaie contenait en moyenne 782 tiges·ha^{-1}, dont près de la moitié (49 %) était représentée par le bouleau à papier et 45 % par l'érable à sucre (tableau 1). On rencontrait dans les dépressions humides des frênes noirs, des bouleaux jaunes, des épinettes noires (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.) et des sapins baumiers (*Abies balsamea* [L.] Mill.). Enfin, quelques peupliers faux-trembles (*Populus tremuloides* Michx.), ostryers de Virginie (*Ostrya virginiana* [Mill.] K. Koch), chênes rouges et pins blancs venaient compléter le cortège d'espèces arborescentes. Dans le secteur étudié, le peuplier faux-tremble et le peuplier à grandes dents (*Populus grandidentata* Michx.) formaient, en mélange, des massifs de plusieurs dizaines de mètres de rayon, le plus souvent sur des élévations du relief.

La surface terrière moyenne pour l'ensemble des 3 parcelles était de 23,3 m^2·ha^{-1}, dont un peu plus des deux tiers (16,1 m^2·ha^{-1}) étaient du bouleau à papier (tableau 1). L'érable à sucre représentait en moyenne le quart (5,7 m^2·ha^{-1}) de la surface terrière totale. Quant au volume marchand brut, il était d'environ 180 m^3·ha^{-1}, dont près de 80 % était du bouleau à papier (tableau 1).

La structure diamétrale du peuplement avant la coupe montrait un nombre de tiges décroissant avec l'augmentation du DHP (figure 2a). Pour le bouleau à papier, la distribution prenait la forme d'une cloche aplatie avec une extension vers les gros diamètres, et elle était à peu près symétrique pour les classes de DHP de 11 à 35 cm (figure 2b). Pour l'érable à sucre, la structure diamétrale était nettement différente de celle du bouleau à papier et montrait une décroissance rapide du nombre de tiges avec l'augmentation du DHP (figure 2c). Les structures diamétrales du bouleau jaune, du frêne noir et de l'ostryer de Virginie s'apparentait à celle de l'érable à sucre, alors que celle de l'érable rouge (*Acer rubrum* L.) s'apparentait davantage à celle du bouleau à papier (non illustré).

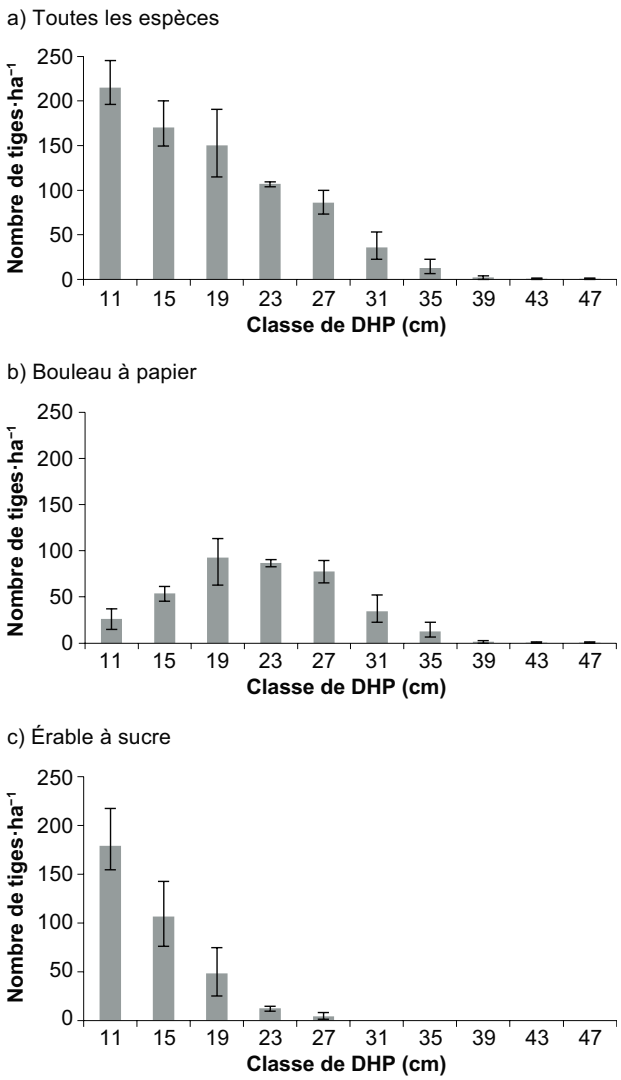

Figure 2. Structure diamétrale moyenne avant la coupe pour a) toutes les espèces, b) le bouleau à papier et c) l'érable à sucre. Les barres d'erreur s'étendent de la valeur minimale à la valeur maximale pour l'ensemble des parcelles.

Le DHP moyen quadratique (DHPq) pour l'ensemble des 3 parcelles était de 19,5 cm, toutes espèces confondues, de 23,0 cm pour le bouleau à papier et de 14,3 cm pour l'érable à sucre (tableau 1). Le bouleau jaune montrait un DHPq de 17,3 cm et l'érable rouge, un DHPq de près de 20 cm; le peuplier faux-tremble était l'essence qui possédait le plus fort DHPq, avec un peu plus de

Tableau 1. Nombre de tiges, DHP moyen quadratique, surface terrière et volume marchand brut avant la coupe (AVC), après la coupe (APC) et 10 ans après la coupe pour l'ensemble des espèces, le bouleau à papier et l'érable à sucre de DHP ≥ 9,1 cm dans chacune des parcelles. Les valeurs du nombre de tiges et du volume marchand brut sont arrondies à l'entier près.

Espèce	Parcelle*	Nombre de tiges·ha^{-1}							DHP moyen quadratique (cm)						
		AVC	APC	10 ans	APC – AVC		10 ans – APC		AVC	APC	10 ans	APC – AVC		10 ans – APC	
Toutes	ECB	843	336	368	–507	(–60 %)	32	(10 %)	18,3	20,9	20,6	2,6	(14 %)	–0,3	(–1 %)
	ECH	740	351	331	–389	(–53 %)	–20	(–6 %)	19,7	19,8	20,2	0,1	(0,5 %)	0,5	(2 %)
	Témoin	763	s. o.	729	s. o.	s. o.	–33	(–4 %)	20,5	s. o.	21,3	s. o.	s. o.	0,9	(4 %)
Bouleau à papier	ECB	339	211	168	–128	(–38 %)	–43	(–20 %)	22,4	23,6	25,5	1,2	(5 %)	1,9	(8 %)
	ECH	420	267	185	–153	(–37 %)	–81	(–31 %)	22,2	21,2	23,4	–1,0	(–5 %)	2,2	(10 %)
	Témoin	400	s. o.	323	s. o.	s. o.	–77	(–19 %)	24,3	s. o.	26,7	s. o.	s. o.	2,4	(10 %)
Érable à sucre	ECB	453	115	185	–339	(–75 %)	71	(62 %)	14,5	15,1	14,9	0,6	(4 %)	–0,2	(–1 %)
	ECH	267	68	129	–199	(–75 %)	61	(90 %)	13,8	13,0	14,7	–0,8	(–6 %)	1,7	(13 %)
	Témoin	333	s. o.	384	s. o.	s. o.	51	(15 %)	14,6	s. o.	15,3	s. o.	s. o.	0,8	(5 %)
Proportion (%) de l'ensemble des espèces															
Bouleau à papier	ECB	40 %	63 %	46 %											
	ECH	57 %	76 %	56 %											
	Témoin	52 %	s. o.	44 %											
	moyenne	**49 %**		**47 %**											
Érable à sucre	ECB	54 %	34 %	50 %											
	ECH	36 %	19 %	39 %											
	Témoin	44 %	s. o.	53 %											
	moyenne	**45 %**		**49 %**											

* ECB : éclaircie par le bas; ECH : éclaircie par le haut

Tableau 2. Nombre de tiges et surface terrière avant la coupe pour le bouleau à papier dans chacune des parcelles, par intervalle de DHP associé aux classes de qualité de sciage. Les pourcentages entre parenthèses représentent les proportions relatives par rapport au nombre total de bouleaux à papier ou à leur surface terrière totale. Les valeurs du nombre de tiges sont arrondies à l'entier près.

Intervalle de DHP (cm)	Classe de qualité maximale selon l'intervalle de DHP	Nombre de tiges·ha^{-1}							
		ECB*		ECH*		Témoin		Moyenne des 3 parcelles	
≥ 39,1	A	0	(0 %)	0	(0 %)	3	(0,7 %)	1	(0,2 %)
33,1–39,0	B	7	(2 %)	9	(2 %)	25	(6 %)	14	(4 %)
23,1–33,0	C	129	(38 %)	159	(38 %)	191	(48 %)	160	(41 %)
≥ 23,1	Total sciage	136	(40 %)	168	(40 %)	219	(55 %)	174	(45 %)
9,1–23,0	Non sciage	203	(60 %)	252	(60 %)	181	(45 %)	212	(55 %)
≥ 9,1	Total	339	(100 %)	420	(100 %)	400	(100 %)	386	(100 %)

* ECB : éclaircie par le bas; ECH : éclaircie par le haut.

Surface terrière ($m^2 \cdot ha^{-1}$)							Volume marchand brut ($m^3 \cdot ha^{-1}$)						
AVC	APC	10 ans	APC – AVC		10 ans – APC		AVC	APC	10 ans	APC – AVC		10 ans – APC	
22,2	11,5	12,2	–10,7	(–48 %)	0,7	(6 %)	159	92	97	–66	(–42 %)	4	(5 %)
22,5	10,8	10,6	–11,7	(–52 %)	–0,1	(–1 %)	176	86	84	–91	(–51 %)	–2	(–2 %)
25,1	s. o.	26,1	s. o.	s. o.	1,0	(4 %)	199	s. o.	209	s. o.	s. o.	10	(5 %)
13,4	9,2	8,6	–4,2	(–31 %)	–0,7	(–7 %)	115	81	77	–35	(–30 %)	–4	(–5 %)
16,3	9,4	8,0	–6,9	(–42 %)	–1,4	(–15 %)	139	79	70	–61	(–43 %)	–9	(–12 %)
18,6	s. o.	18,1	s. o.	s. o.	–0,4	(–2 %)	165	s. o.	166	s. o.	s. o.	1	(1 %)
7,5	2,1	3,3	–5,4	(–73 %)	1,2	(58 %)	36	10	17	–26	(–71 %)	6	(58 %)
4,0	0,9	2,2	–3,1	(–77 %)	1,3	(144 %)	18	4	11	–14	(–79 %)	7	(189 %)
5,6	s. o.	7,1	s. o.	s. o.	1,5	(27 %)	28	s. o.	37	s. o.	s. o.	10	(35 %)
60 %	80 %	70 %					73 %	87 %	79 %				
72 %	87 %	75 %					79 %	92 %	83 %				
74 %	s. o.	69 %					83 %	s. o.	79 %				
69 %		**71 %**					**79 %**		**80 %**				
34 %	18 %	27 %					23 %	11 %	17 %				
18 %	8 %	21 %					10 %	4 %	13 %				
22 %	s. o.	27 %					14 %	s. o.	18 %				
24 %		**26 %**					**15 %**		**17 %**				

Surface terrière ($m^2 \cdot ha^{-1}$)					
ECB*		ECH*		Témoin		Moyenne des 3 parcelles	
0	(0 %)	0	(0 %)	0,4	(2 %)	0,1	(0,8 %)
0,6	(5 %)	0,9	(6 %)	2,4	(13 %)	1,3	(8 %)
7,2	(54 %)	9,0	(55 %)	11,2	(60 %)	9,1	(57 %)
7,8	(59 %)	9,9	(61 %)	14,0	(75 %)	10,6	(66 %)
5,5	(41 %)	6,4	(39 %)	4,6	(25 %)	5,5	(34 %)
13,4	(100 %)	16,3	(100 %)	18,6	(100 %)	16,1	(100 %)

34 cm (non illustré). Le DHP maximal observé pour le bouleau à papier était de 45 cm et celui pour l'érable à sucre, l'érable rouge et le bouleau jaune variait de 27 à 29 cm (non illustré).

Dans la classification des arbres sur pied par classe de qualité de sciage, les seuils minimaux de DHP de 39,1 cm, 33,1 cm et 23,1 cm sont respectivement associés aux classes de qualité A, B et C (MRNFP 2004b). Avant la coupe, pour le bouleau à papier, le nombre de tiges de dimensions minimales pour la classe de qualité C du sciage (DHP de 23,1 à 33,0 cm) était en moyenne de 160 tiges·ha^{-1} et représentait 41 % du nombre de bouleaux à papier (tableau 2). Le nombre de tiges de DHP de 33,1 cm à 39,0 cm qui rencontraient les dimensions de la classe de qualité B était beaucoup plus faible (en moyenne 14 tiges·ha^{-1} et 4 % des bouleaux à papier). Enfin, en moyenne, un seul bouleau à papier à l'hectare possédait les dimensions pour se classer dans la classe A (qualité la plus élevée), et de telles dimensions n'ont été rencontrées que dans une des 3 parcelles. La majorité (55 %) des bouleaux à papier n'avaient pas le DHP minimal requis pour le bois de sciage. En matière de surface terrière, les bouleaux à papier de dimension de sciage (DHP ≥ 23,1 cm) représentaient les deux tiers de la surface terrière du bouleau à papier, soit 10,6 m^2·ha^{-1} (tableau 2).

Le coefficient de distribution du bouleau à papier dans chacune des 3 parcelles, calculé sur l'entièreté de la superficie (100 m × 100 m), variait de 92 à 94 % pour des superficies d'échantillonnage de 100 m^2 (10 m × 10 m) et de 50 à 61 % pour des superficies d'échantillonnage de 25 m^2 (5 m × 5 m).

2.1.2 Âge

Avant la coupe, l'âge des bouleaux à papier, tel qu'observé sur une superficie de 0,3 ha de la parcelle témoin et mesuré à 1,3 m du sol, variait de 40 à 74 ans (figure 3). Plus de 77 % des bouleaux à papier se situaient dans les classes d'âge de 65 et 70 ans, avec la moitié (51 %) des bouleaux dans la classe de 70 ans (de 68 à 72 ans).

L'âge du bouleau à papier tend à augmenter avec le DHP (figure 4). Pour un âge donné, une grande variation de DHP était observée. Ainsi, pour des bouleaux âgés de plus de 70 ans, les DHP variaient de 16 à 44 cm; un bouleau de 69 ans présentait même un DHP aussi petit que 11,4 cm. L'étendue des âges pour un DHP donné était plus grande pour les petits diamètres que pour les plus gros. Par exemple, pour des DHP de 15 à 20 cm, on observait des âges de 56 à 73 ans. Chez les bouleaux à papier de 30 à 35 cm de DHP, on observait des âges de 68 à 74 ans.

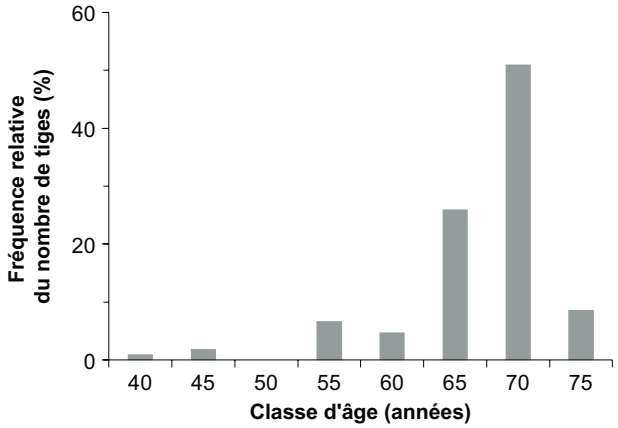

Figure 3. Structure d'âge de l'ensemble des bouleaux à papier échantillonnés à 1,3 m du sol sur une superficie de 30 m × 100 m à l'intérieur de la parcelle témoin (n = 104).

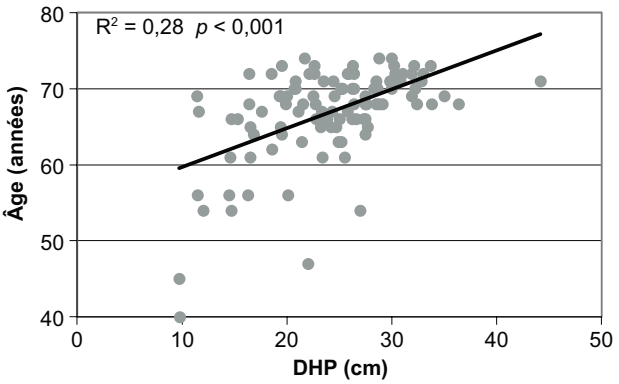

Figure 4. Relation entre l'âge du bouleau à papier mesuré à 1,3 m du sol et son DHP avant la coupe.

2.1.3 Couvert dominant et indice de qualité de station

Avant la coupe, la hauteur dominante du bouleau à papier pour l'ensemble des 3 parcelles était de 20,8 m et l'indice de qualité de station était de 18,4 m à 50 ans. Selon les parcelles, les bouleaux à papier faisant partie des 100 plus grosses tiges à l'hectare avaient un DHP minimal variant de 25 à 28 cm et un âge à 1,3 m du sol variant de 65 à 74 ans.

2.1.4 Historique de l'accroissement en diamètre du bouleau à papier

La figure 5a présente la moyenne des accroissements décennaux du DHP sans écorce des bouleaux à papier appartenant avant la coupe aux classes de DHP de 15, 23 et 32 cm, suivant l'échelle de temps après feu, de même que celle d'une tige de bouleau à papier de 44 cm de DHP. La moyenne (± écart-type) des âges des bouleaux à papier pour ces classes de DHP était de 62,6 ± 5,3 ans, 67,8 ± 4,5 ans et 69,0 ± 3,5 ans, respectivement,

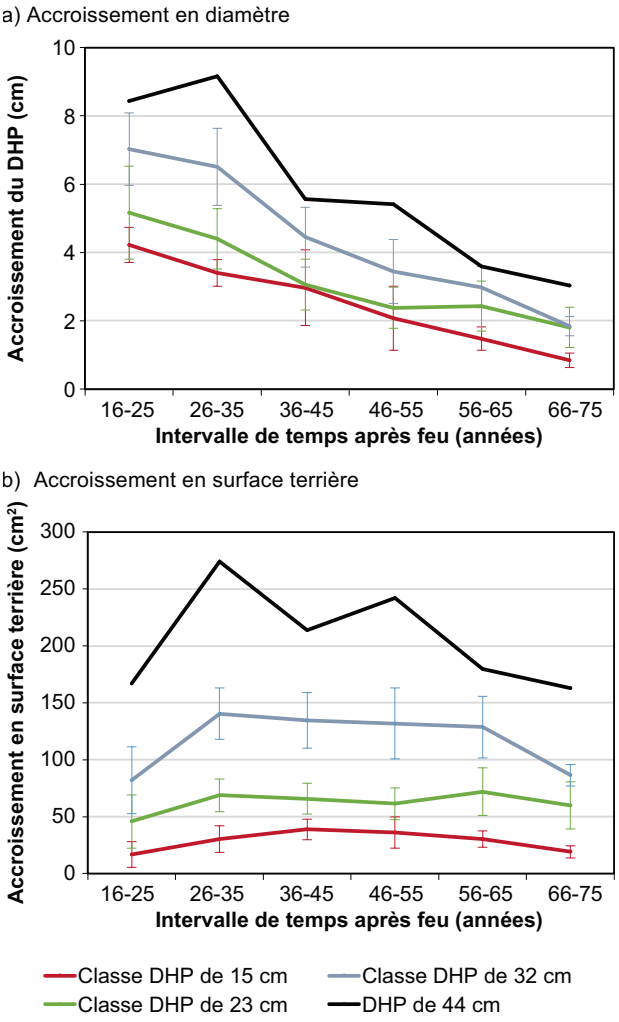

Figure 5. Accroissement moyen par décennie a) du DHP et b) en surface terrière (sans écorce dans les deux cas) des bouleaux à papier appartenant aux classes de DHP de 15 cm (de 14,1 à 16,0 cm; n = 11), de 23 cm (de 22,1 à 24,0 cm; n = 18), de 32 cm (de 31,1 à 33,0 cm; n = 11) et de 44 cm (44,2 cm; n = 1). Les barres verticales indiquent l'écart-type.

et l'âge du bouleau à papier de DHP de 44 cm était de 71 ans (non illustré). Dès la décennie de 16 à 25 ans après le feu, l'accroissement du DHP variait déjà distinctement entre chacune de ces grosseurs de tiges : plus le DHP avant la coupe des bouleaux à papier était gros, plus l'accroissement en diamètre a été fort depuis cette période. Ces écarts dans l'accroissement en diamètre se sont assez bien maintenus dans le temps entre ces groupes de tiges, de sorte que même durant la dernière décennie avant la coupe, les plus gros bouleaux à papier présentaient en moyenne des accroissements en diamètre plus forts que les plus petits.

L'accroissement en diamètre n'a cessé de diminuer depuis la décennie 16-25 ans après le feu, sauf pour le bouleau à papier de 44 cm, dont l'accroissement a diminué à partir de la décennie suivante (figure 5a). Pour les bouleaux de la classe de DHP de 32 cm (soit les gros bouleaux dominants du peuplement), on observait en moyenne un accroissement du DHP sans écorce de 6,9 ± 1,1 cm pendant la décennie de 16-25 ans après feu; 50 ans plus tard, cet accroissement n'est plus que de 2,0 ± 0,6 cm. De même, l'accroissement maximal du DHP sans écorce n'a cessé de diminuer, passant de 10,0 cm pendant la décennie de 16-25 ans après feu à 2,4 cm, 50 ans plus tard (non illustré).

Tout comme celui en diamètre, l'accroissement en surface terrière par arbre a varié dans le temps et selon la grosseur des bouleaux à papier (figure 5b). Malgré ces différences, il a été relativement stable et à son maximum pendant 4 décennies, soit de 26 à 65 ans après le feu, pour les classes de DHP de 15, 23 et 32 cm. Durant la décennie de 65 à 75 ans après feu, l'accroissement en surface terrière a toutefois diminué respectivement de 44 %, de 11 % et de 37 % par rapport à la moyenne des 4 décennies précédentes.

2.1.5 Mortalité

En 1998, pour les 3 parcelles, on comptait en moyenne 40 bouleaux à papier morts sur pied à l'hectare (tiges mortes ne présentant que le fût [chicots] et tiges mortes avec leurs branches), ce qui représentait 10 % des bouleaux à papier vivants du peuplement. La proportion de bouleaux à papier morts par classe de DHP était inversement proportionnelle au DHP, passant de 32 % pour la classe de 11 cm à 1 % pour la classe de 31 cm (figure 6a). Le DHP du plus gros bouleau à papier mort qui était encore sur pied était de 29,4 cm. Pour l'érable à sucre, le portrait de la mortalité était différent : le taux de mortalité global était de seulement 4 %, et assez constant (de 3 à 5 %) dans les 3 premières classes de DHP (figure 6b). Cependant, dans la classe de DHP de 23 cm, 3 des 28 tiges étaient mortes sur pied, ce qui représente un taux de mortalité de l'ordre de 10 %.

2.2 Résultats immédiatement après la coupe

2.2.1 Éclaircie mixte par le bas (ECB)

Dans la parcelle ECB, le nombre total de tiges, toutes essences confondues, est passé de 843 tiges·ha^{-1} avant la coupe à 336 tiges·ha^{-1} après la coupe, ce qui représente un prélèvement de 60 % (tableau 1). La proportion prélevée a été plus grande chez les espèces compagnes du bouleau à papier, notamment l'érable à sucre (deux tiers de toutes les tiges prélevées, alors que le bouleau à papier en

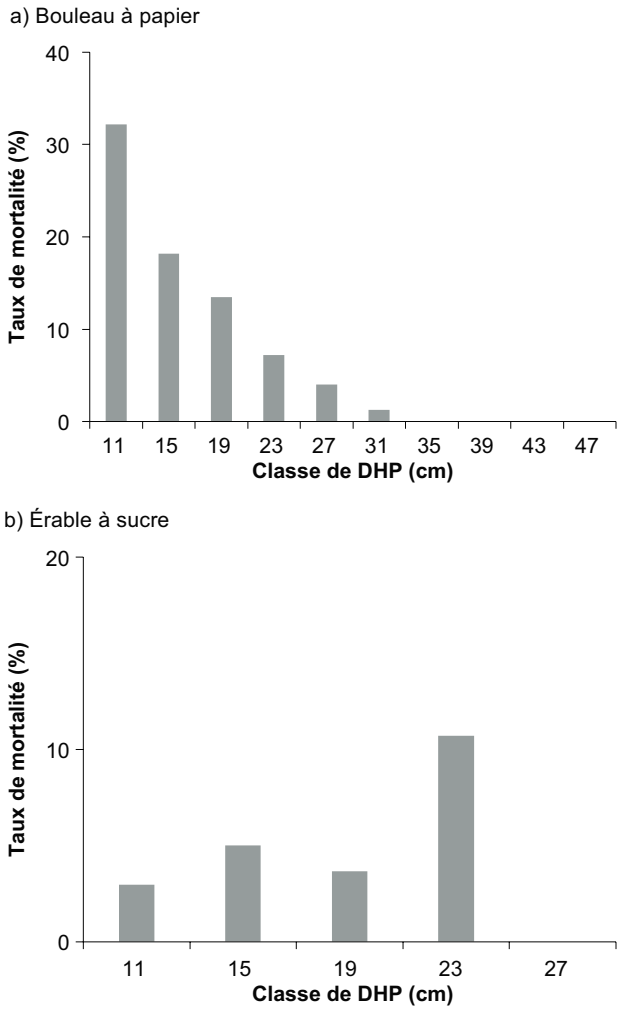

Figure 6. Taux de mortalité avant la coupe a) du bouleau à papier et b) de l'érable à sucre, par classe de DHP, pour l'ensemble des 3 parcelles.

représentait le quart). Le prélèvement a surtout été réalisé parmi les tiges de petits diamètres et très peu parmi celles de gros diamètres. Cela s'est traduit par une baisse importante du nombre de tiges dans les classes de DHP de 11 à 19 cm (figure 7a) et par un diamètre moyen quadratique qui a augmenté de 2,6 cm (tableau 1). La surface terrière est passée de 22,2 $m^2 \cdot ha^{-1}$ avant la coupe à 11,5 $m^2 \cdot ha^{-1}$ après la coupe, ce qui représente un prélèvement de 48 %, et le VMB est passé de 159 à 92 $m^3 \cdot ha^{-1}$, ce qui représente un prélèvement de 42 % (tableau 1).

Pour le bouleau à papier, un peu plus du tiers (38 %) des tiges ont été prélevées dans la parcelle ECB (tableau 1); même si peu de tiges, en nombre, ont été prélevées dans les classes de DHP de 27 cm et plus (figure 7b), la proportion de surface terrière a diminué en fonction du DHP (figure 8). Le DHP moyen quadratique des bouleaux à papier du peuplement résiduel a ainsi augmenté de 1,2 cm, passant de 22,4 cm avant la coupe à 23,6 cm après la coupe (tableau 1). La surface terrière en bouleau à papier est passée de 13,4 $m^2 \cdot ha^{-1}$ avant la coupe à 9,2 $m^2 \cdot ha^{-1}$ après la coupe, ce qui représente un prélèvement de 31 %, et le VMB est passé de 115 à 81 $m^3 \cdot ha^{-1}$, ce qui représente un prélèvement de 30 %.

2.2.2 Éclaircie mixte par le haut (ECH)

Dans la parcelle ECH, le nombre total de tiges, toutes espèces confondues, est passé de 740 tiges·ha^{-1} avant la coupe à 351 tiges·ha^{-1} après la coupe, ce qui représente un prélèvement de 53 % (tableau 1). La proportion du nombre de tiges prélevées a été particulièrement élevée chez le bouleau à papier (39 %) et l'érable à sucre (51 %). Le prélèvement a été réalisé surtout dans les classes de petits diamètres, mais aussi dans celles de moyens et de gros diamètres (figure 7a), avec comme effet que le DHP moyen quadratique n'a pas changé significativement (tableau 1). La surface terrière est passée de 22,5 $m^2 \cdot ha^{-1}$ avant coupe à 10,8 $m^2 \cdot ha^{-1}$ après coupe, ce qui représente un prélèvement de 52 %, et le VMB est passé de 176 $m^3 \cdot ha^{-1}$ à 86 $m^3 \cdot ha^{-1}$, ce qui représente un prélèvement de 51 % (tableau 1).

Pour le bouleau à papier, un peu plus du tiers (37 %) des tiges ont été prélevées dans la parcelle ECH (tableau 1). Ce nombre a été réparti assez également dans l'ensemble des classes de DHP (figure 7b), mais la proportion du nombre de tiges de bouleau à papier a été plus grande dans les classes de gros diamètres (de 53 à 100 %, figure 8). Cela se traduit par une baisse de 1,0 cm du DHP moyen quadratique des bouleaux à papier (de 22,2 cm avant la coupe à 21,2 cm après la coupe, tableau 1). La surface terrière en bouleau à papier est passée de 16,3 $m^2 \cdot ha^{-1}$ avant la coupe à 9,4 $m^2 \cdot ha^{-1}$ après la coupe, ce qui représente un prélèvement de 42 %, et le VMB du bouleau à papier est passé de 139 à 79 $m^3 \cdot ha^{-1}$, ce qui représente un prélèvement de 43 %.

2.2.3 Comparaisons entre les 2 types d'éclaircies après la coupe

Après la coupe, la parcelle ECH contenait un plus grand nombre de bouleaux à papier que la parcelle ECB, mais les surfaces terrières et les VMB, pour l'ensemble des espèces comme pour le bouleau à papier, étaient assez similaires entre les deux traitements (tableau 1). Alors que le DHP moyen quadratique du bouleau à papier avant la coupe était assez semblable dans les 2 parcelles, il a augmenté de 1,2 cm dans la parcelle ECB à la suite de la coupe et a diminué de presque autant (1,0 cm) dans la parcelle ECH. Après la coupe, la parcelle ECB contenait plus de gros bouleaux à papier, avec 105 tiges qui respectaient les dimensions minimales des

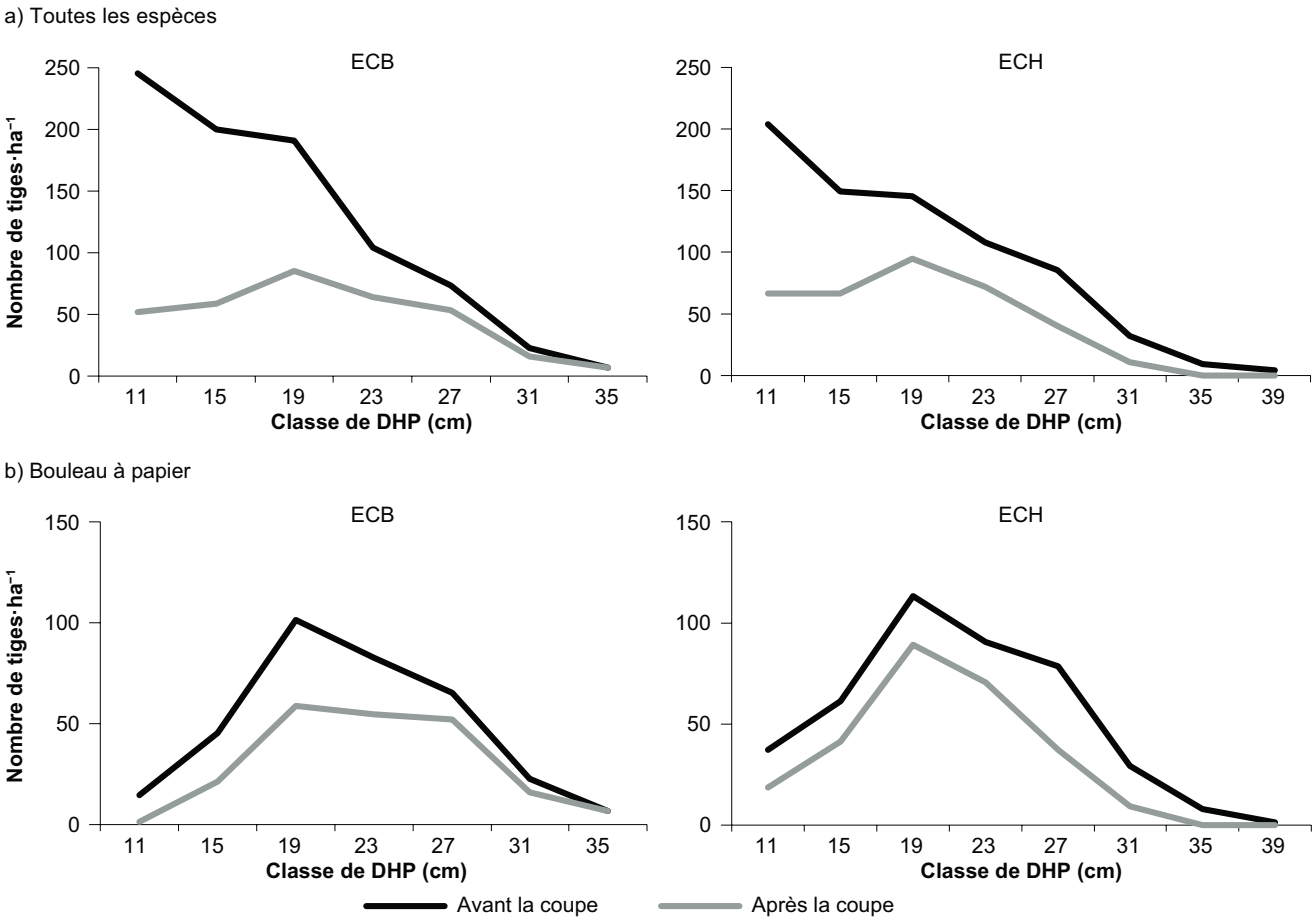

Figure 7. Structure diamétrale a) de toutes les espèces et b) du bouleau à papier avant et après la coupe, dans les 2 parcelles éclaircies. ECB : parcelle éclaircie par le bas; ECH : parcelle éclaircie par le haut.

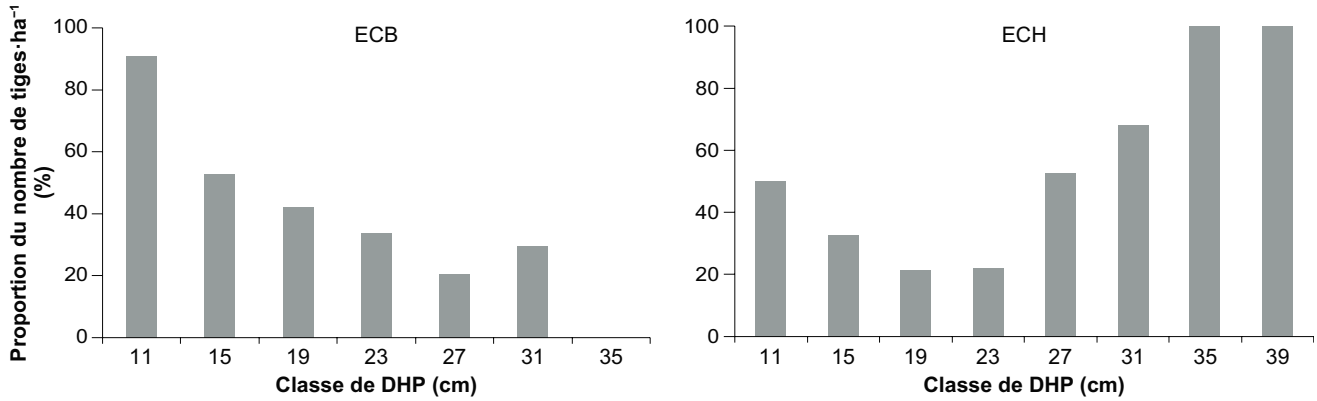

Figure 8. Proportion (%) du nombre de bouleaux à papier prélevés lors de la coupe, par classe de DHP, dans les 2 parcelles éclaircies. ECB : parcelle éclaircie par le bas; ECH : parcelle éclaircie par le haut.

classes B et C (soit 50 % du nombre total de bouleaux à papier) contre 83 tiges dans la parcelle ECH (31 %; tableau 3). Après la coupe, les 2 parcelles ne comportaient aucun bouleau à papier ayant les dimensions de la classe A (DHP ≥ 39,1 cm), et la parcelle ECH ne contenait plus aucun bouleau à papier ayant les dimensions minimales de la classe de qualité B (DHP de 33,1 à 39,0 cm).

2.3 Résultats 10 ans après la coupe

Dix ans après la coupe, le nombre de tiges à l'hectare, toutes espèces confondues, a augmenté de 32 dans la parcelle ECB et diminué de 20 et de 33 dans les parcelles ECH et témoin, respectivement (tableau 1). Le nombre de bouleaux à papier a diminué dans les 3 parcelles, mais moins dans la parcelle ECB (–43 tiges·ha^{-1}) que dans les parcelles

Tableau 3. Nombre de bouleaux à papier à l'hectare avant la coupe, coupés, après la coupe, 10 ans après la coupe et morts 10 ans après la coupe, par intervalle de DHP associé aux classes de qualité de sciage, pour chacune des parcelles. Les valeurs sont arrondies à l'entier près.

Intervalle de DHP (cm)	Classe de qualité maximale selon DHP	Parcelle*	Avant la coupe	Coupés†		Après la coupe	10 ans après la coupe	Morts 10 ans après la coupe‡		Proportion des tiges marchandes avant la coupe	Proportion des tiges marchandes après la coupe	Proportion des tiges marchandes 10 ans après la coupe
≥ 39,1	A	ECB	0	0	(0 %)	0	0	0	(0 %)	0 %	0 %	0 %
		ECH	0	0	(0 %)	0	0	0	(0 %)	0 %	0 %	0 %
		Témoin	3	s. o.	s. o.	s. o.	5	0	(0 %)	0,7 %	s. o.	2 %
33,1–39,0	B	ECB	7	0	(0 %)	7	5	3	(40 %)	2 %	3 %	3 %
		ECH	9	9	(100 %)	0	4	0	(0 %)	2 %	0 %	2 %
		Témoin	25	s. o.	s. o.	s. o.	37	1	(5 %)	6 %	s. o.	12 %
23,1–33,0	C	ECB	129	31	(24 %)	99	96	16	(16 %)	38 %	47 %	57 %
		ECH	159	76	(48 %)	83	87	21	(26 %)	38 %	31 %	47 %
		Témoin	191	s. o.	s. o.	s. o.	180	13	(7 %)	48 %	s. o.	57 %
≥ 23,1	Total sciage (A+B+C)	ECB	136	31	(23 %)	105	101	19	(18 %)	40 %	50 %	60 %
		ECH	168	85	(51 %)	83	91	21	(26 %)	40 %	31 %	49 %
		Témoin	219	s. o.	s. o.	s. o.	223	15	(7 %)	55 %	s. o.	69 %
9,1–23,0	Non sciage	ECB	203	97	(48 %)	105	67	24	(23 %)	60 %	50 %	40 %
		ECH	252	68	(27 %)	184	93	61	(33 %)	60 %	69 %	51 %
		Témoin	182	s. o.	s. o.	s. o.	100	63	(35 %)	45 %	s. o.	32 %
≥ 9,1	Total des tiges marchandes	ECB	339	128	(38 %)	211	168	43	(20 %)	100 %	100 %	100 %
		ECH	420	153	(37 %)	267	184	83	(31 %)	100 %	100 %	100 %
		Témoin	400	s. o.	s. o.	s. o.	317	77	(19 %)	100 %	s. o.	100 %

* ECB : éclaircie par le bas; ECH : éclaircie par le haut.

† Le pourcentage entre parenthèses représente la proportion par rapport à avant la coupe.

‡ Le pourcentage entre parenthèses représente la proportion par rapport à après la coupe (avant la coupe pour le témoin)

ECH (–81 tiges·ha^{-1}) et témoin (–77 tiges·ha^{-1}). Le nombre d'érables à sucre, quant à lui, a augmenté de 51 à 71 tiges·ha^{-1} selon les parcelles.

En 10 ans, la surface terrière totale, toutes espèces confondues, a augmenté dans les parcelles ECB (0,7 m^2·ha^{-1}) et témoin (1,0 m^2·ha^{-1}), mais elle a légèrement diminué dans la parcelle ECH, (–0,1 m^2·ha^{-1}; tableau 1). La surface terrière du bouleau à papier a diminué dans les 3 parcelles, mais les pertes ont été moindres dans les parcelles témoin (–0,4 m^2·ha^{-1}; –2 %) et ECB (–0,7 m^2·ha^{-1}; –7 %) que dans la parcelle ECH (–1,4 m^2·ha^{-1}; –15 %). Pour l'érable à sucre, la surface terrière a augmenté de 1,2 à 1,5 m^2·ha^{-1} selon les parcelles.

Le VMB a augmenté ou diminué sur 10 ans selon les mêmes tendances que la surface terrière, sauf pour le bouleau à papier dans la parcelle témoin, dont le VMB est resté pratiquement le même (tableau 1).

2.3.1 Patron de structure diamétrale du bouleau à papier

Dans chacune des 3 parcelles, 10 ans après la coupe, le nombre de tiges de bouleau à papier a diminué dans les classes de DHP de 23 cm et moins (figure 9). Dans les 2 parcelles éclaircies prises ensemble, la baisse relative a diminué à mesure que la classe de DHP augmentait, passant de 69 % pour la classe de 15 cm à 15 % pour celle de 23 cm. Dans la parcelle témoin, la baisse relative est demeurée assez constante (de 37 à 42 %) pour les classes de DHP de 15 cm à 23 cm. Dans les 2 parcelles éclaircies, le nombre de tiges de bouleau à papier dans la classe de DHP de 27 cm n'a pratiquement pas changé en 10 ans, alors qu'il a presque doublé dans la classe de 31 cm. Dans la parcelle témoin, c'est plutôt dans la classe de DHP de 31 cm que le nombre de tiges de bouleaux à papier n'a pratiquement pas changé, alors qu'il a augmenté de presque 50 % dans la classe de 35 cm.

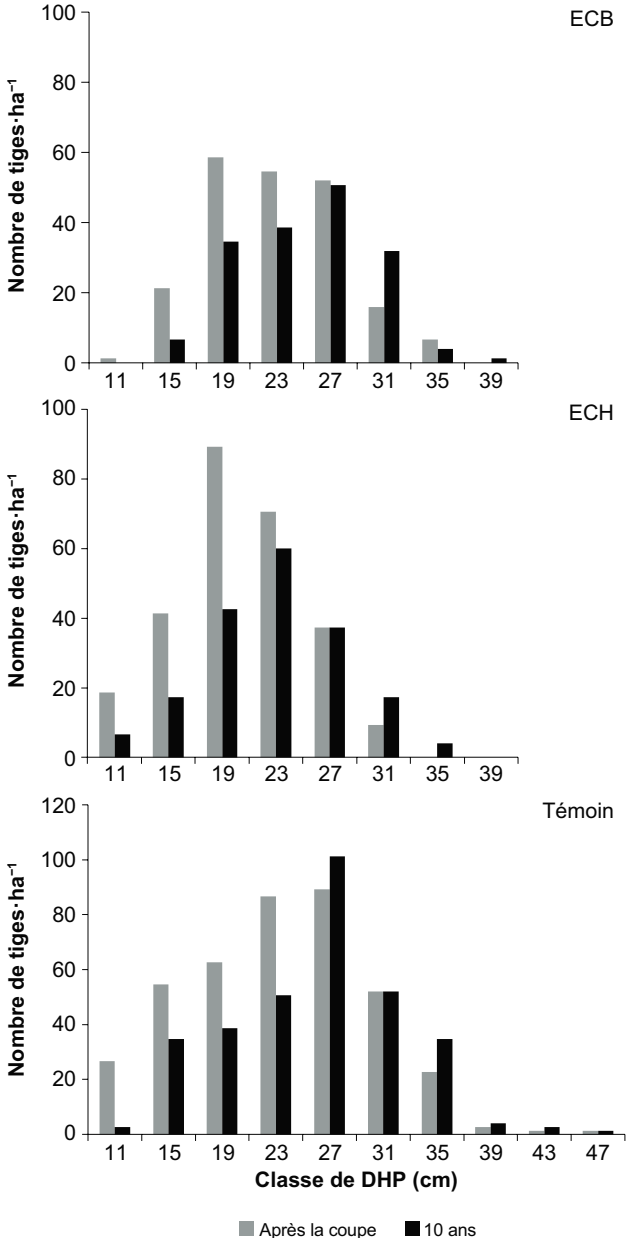

Figure 9. Patron de structure diamétrale du bouleau à papier par classe de DHP, après la coupe et 10 ans après la coupe, dans chacune des 3 parcelles. ECB : éclaircie par le bas; ECH : éclaircie par le haut.

2.3.2 Tiges de DHP inférieur à 9,1 cm

2.3.2.1 Espèces arborescentes

Dans la parcelle témoin, le nombre total de pré-gaules (arbres dont le DHP varie de 0,1 à 1,0 cm) et de gaules (DHP de 1,1 cm à 9,0 cm) d'espèces arborescentes a diminué entre la 5^e et la 10^e année de suivi, passant respectivement de 1213 à 940 et de 927 à 880 tiges·ha^{-1} (tableau 4). Ce portrait reflète essentiellement celui de l'érable à sucre, l'espèce arborescente la plus abondante. L'érable rouge est la seconde espèce arborescente en importance; elle est presque exclusivement restreinte aux classes de DHP de 1 et de 2 cm, et sa population a progressé dans le temps, contrairement à l'érable à sucre. Aucun bouleau à papier de DHP < 9,1 cm n'a été observé.

Dans la parcelle ECB, 10 ans après la coupe, on a observé au total 5,3 fois plus de pré-gaules (4947 tiges·ha^{-1}) et 6,1 fois plus de gaules (5360 tiges·ha^{-1}) que dans la parcelle témoin (tableau 4). Cette augmentation est en grande partie attribuable à l'érable à sucre ainsi qu'à l'érable rouge, tous deux présents surtout dans les classes de DHP de 1 et de 2 cm (figure 10). L'érable rouge a

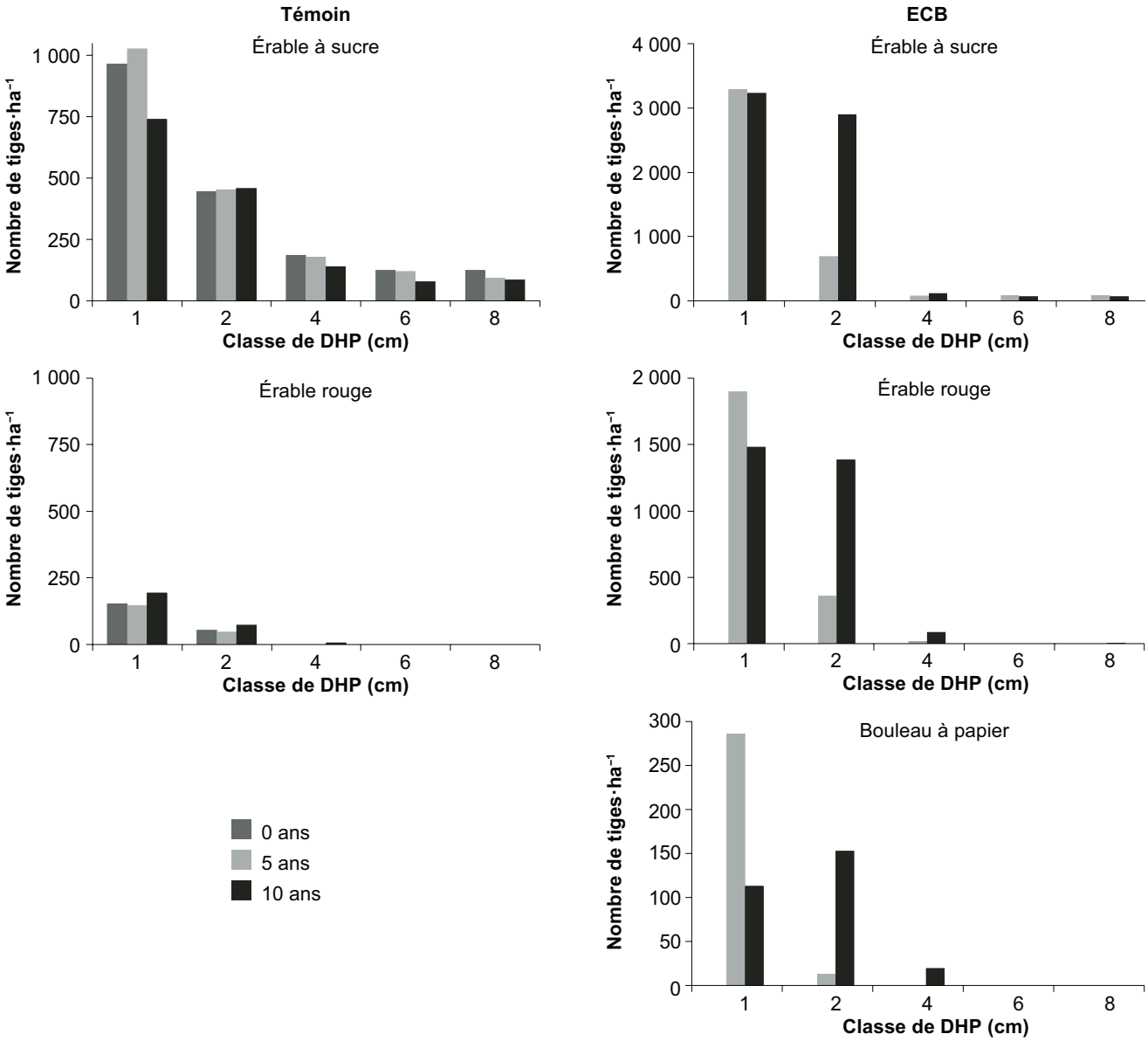

Figure 10. Évolution dans le temps du nombre d'érables à sucre, d'érables rouges et de bouleaux à papier de taille non marchande, par classe de DHP, dans la parcelle témoin et la parcelle éclaircie par le bas (ECB). La classe de 1 cm regroupe les pré-gaules (DHP de 0,1 à 1,0 cm) dans un intervalle de 1 cm, alors que les classes de 2 à 8 cm regroupent les gaules (DHP de 1,1 à 9,0 cm, par intervalles de 2 cm). Aucun bouleau à papier de DHP < 9,1 cm n'a été observé dans la parcelle témoin.

augmenté sa représentativité à 28 % du nombre de gaules dans la parcelle ECB, 10 ans après la coupe, comparativement à 9 % dans la parcelle témoin. Cinq ans après la coupe, le bouleau à papier demeurait absent parmi les tiges de DHP < 9,1 cm dans la parcelle témoin, mais présentait 300 tiges·ha^{-1} (essentiellement des pré-gaules et provenant de rejets de souche) dans la parcelle ECB (tableau 4). Dix ans après la coupe, ce nombre a peu changé (286 tiges·ha^{-1}), mais les bouleaux à papier étaient distribués dans les classes de DHP de 1, 2 et 4 cm (figure 10). Les gaules d'espèces arborescentes atteignaient alors une hauteur d'environ 2 à 3 m.

2.3.2.2 Espèces arbustives

Les espèces arbustives se limitaient presque exclusivement aux classes de DHP de 1 et de 2 cm; le noisetier à long bec (*Corylus cornuta* Marsh.) était de loin l'espèce la plus abondante (tableau 4). Durant la période de 5 à 10 ans, dans la parcelle témoin, le nombre total de pré-gaules d'espèces arbustives a diminué légèrement, passant de 1347 à 1200 pré-gaules·ha^{-1}. On y a observé aussi que le nombre de pré-gaules d'érables de Pennsylvanie (*Acer pensylvanicum* L.) a diminué de moitié et que celui des érables à épis (*Acer spicatum* Lam.) a diminué de près des deux tiers, alors que celui

Tableau 4. Nombre de tiges à l'hectare des pré-gaules (arbres de DHP de 0,1 à 1,0 cm) et des gaules (DHP de 1,1 à 9,0 cm) d'espèces arborescentes et arbustives dans la parcelle témoin et la parcelle éclaircie par le bas (ECB), 5 et 10 ans après la coupe. Les valeurs sont arrondies à l'entier près*.

Nom français†	Témoin						ECB					
	Pré-gaules			Gaules			Pré-gaules			Gaules		
	5 ans	10 ans	Différence	5 ans	10 ans	Différence	5 ans	10 ans	Différence	5 ans	10 ans	Différence
Espèces arborescentes												
Érable à sucre	1 027	740	–287	847	767	–80	3 287	3 227	–60	947	3 167	2 220
Érable rouge	147	193	47	47	80	33	1 900	1 480	–420	380	1 480	1 100
Ostryer de Virginie	0	0	0	0	0	0	173	93	–80	73	300	227
Bouleau à papier	0	0	0	0	0	0	287	113	–173	13	173	160
Sapin baumier	13	0	–13	7	13	7	67	27	–40	133	207	73
Autres espèces	27	7	–20	27	20	–7	20	7	–13	20	33	13
Total	**1 213**	**940**	**–273**	**927**	**880**	**–47**	**5 733**	**4 947**	**–787**	**1 567**	**5 360**	**3 793**
Espèces arbustives												
Noisetier à long bec	980	1 047	67	113	127	13	9 773	12 393	2 620	273	3 860	3 587
Érable à épis	300	120	–180	33	40	7	1 600	1 713	113	60	327	267
Érable de Pennsylvanie	60	33	–27	33	33	0	473	460	–13	127	620	493
Amélanchiers	0	0	0	0	0	0	60	47	–13	0	40	40
Cerisier de Pennsylvanie	0	0	0	0	0	0	53	13	–40	0	47	47
Autres espèces	7	0	–7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	**1 347**	**1 200**	**–147**	**180**	**200**	**20**	**11 960**	**14 627**	**2 667**	**460**	**4 893**	**4 433**

* Comme l'échantillonnage par parcelle a été réalisé sur 0,15 ha, les valeurs ont été converties sur la base d'un hectare en les multipliant par 6,7.

† Amélanchiers : *Amelanchier* Medik; Bouleau à papier : *Betula papyrifera* Marsh.; Cerisier de Pennsylvanie : *Prunus pensylvanica* L.; Érable à épis : *Acer spicatum* Lam.; Érable à sucre : *Acer saccharum* Marsh.; Érable de Pennsylvanie : *Acer pensylvanicum* L.; Érable rouge : *Acer rubrum* L.; Noisetier à long bec : *Corylus cornuta* Marsh.; Ostryer de Virginie : *Ostrya virginiana* (Mill.) K. Koch; Sapin baumier : *Abies balsamea* (L.) Mill.

des noisetiers a augmenté légèrement. Durant la même période, le nombre total de gaules de la parcelle témoin est resté pratiquement inchangé (180 gaules·ha^{-1} après 5 ans et 200 gaules·ha^{-1} après 10 ans). Dans la parcelle ECB, les espèces arbustives ont proliféré pour atteindre des nombres de 9 à 12 fois plus élevés que dans la parcelle témoin : près de 12 000 pré-gaules·ha^{-1} après 5 ans et plus de 14 500 pré-gaules·ha^{-1} après 10 ans. Le nombre total de gaules, quant à lui, a augmenté par un facteur de 10 durant la période de 5 à 10 ans après la coupe (de 460 à 4 893 gaules·ha^{-1}).

2.3.3 Accroissement en diamètre

2.3.3.1 Bouleau à papier

L'accroissement du DHP des bouleaux à papier au cours des 10 années suivant la coupe a beaucoup varié dans toutes les parcelles : de quelques millimètres à plus de 4 cm (figure 11a). Cependant, dans les parcelles éclaircies, une plus grande proportion de bouleaux a montré des accroissements du DHP plus grands (figure 11b), pour atteindre ou dépasser 2,0 cm chez 37 % d'entre eux, alors que dans la parcelle témoin, cette proportion était près de 3 fois moindre (13 %). Les bouleaux de petits diamètres ont aussi montré, en moyenne, un accroissement du DHP nettement plus fort dans les parcelles

éclaircies que dans la parcelle témoin (moyennes de 1,4 et de 1,8 cm pour les parcelles ECB et ECH, contre 0,7 cm pour la parcelle témoin; figure 11c). Cependant, avec l'augmentation de la grosseur des bouleaux, l'écart entre ces accroissements s'est rapidement amenuisé entre les 3 parcelles. En moyenne, l'accroissement du DHP a augmenté rapidement en fonction de la grosseur des bouleaux dans la parcelle témoin, alors que cette tendance est beaucoup moins marquée dans la parcelle ECB, et absente dans la parcelle ECH (figure 11a).

2.3.3.2 Érable à sucre

La grande majorité des érables à sucre avaient un DHP ≤ 20 cm, en particulier dans les parcelles éclaircies. Leur accroissement en diamètre sur une période de 10 ans suivant la coupe a montré une grande variation, allant de quelques millimètres à plus de 8 cm (figure 12a). L'accroissement moyen en diamètre dans la parcelle ECH (5,0 et 4,4 cm pour les classes de DHP de 11 et 15 cm, respectivement) se distingue nettement : il était près de 2 fois plus fort que dans la parcelle ECB (2,7 et 2,6 cm, respectivement) et 3 fois plus fort que dans la parcelle témoin (1,6 et 1,5 cm, respectivement; figure 12c). De plus, c'est la seule parcelle dans laquelle des accroissements plus grands que 6 cm ont été observés, et 66 % des érables à sucre de DHP ≤ 20 cm y ont montré des accroissements de plus de 4,0 cm, comparativement à 12 % dans la parcelle ECB et 1 % dans la parcelle témoin (figure 12b). Dans toutes les parcelles, l'accroissement moyen en diamètre de l'érable à sucre a été plus grand que celui du bouleau à papier (figure 12c).

2.3.4 Bilan de production

2.3.4.1 Toutes espèces

Pour l'ensemble des espèces, la production nette 10 ans après la coupe a été faible dans les 3 parcelles (1,0, 0,7 et –0,1 $m^2 \cdot ha^{-1}$ pour la parcelle témoin, ECB et ECH, respectivement), principalement à cause d'une forte mortalité (de 2,0 à 2,8 $m^2 \cdot ha^{-1}$, tableau 5). Dans les 2 parcelles éclaircies, la production par accroissement des survivants (2,0 $m^2 \cdot ha^{-1}$) ainsi que le recrutement (0,7 $m^2 \cdot ha^{-1}$) ont été identiques; par contre, la mortalité a été plus forte dans la parcelle ECH (2,8 $m^2 \cdot ha^{-1}$) que dans

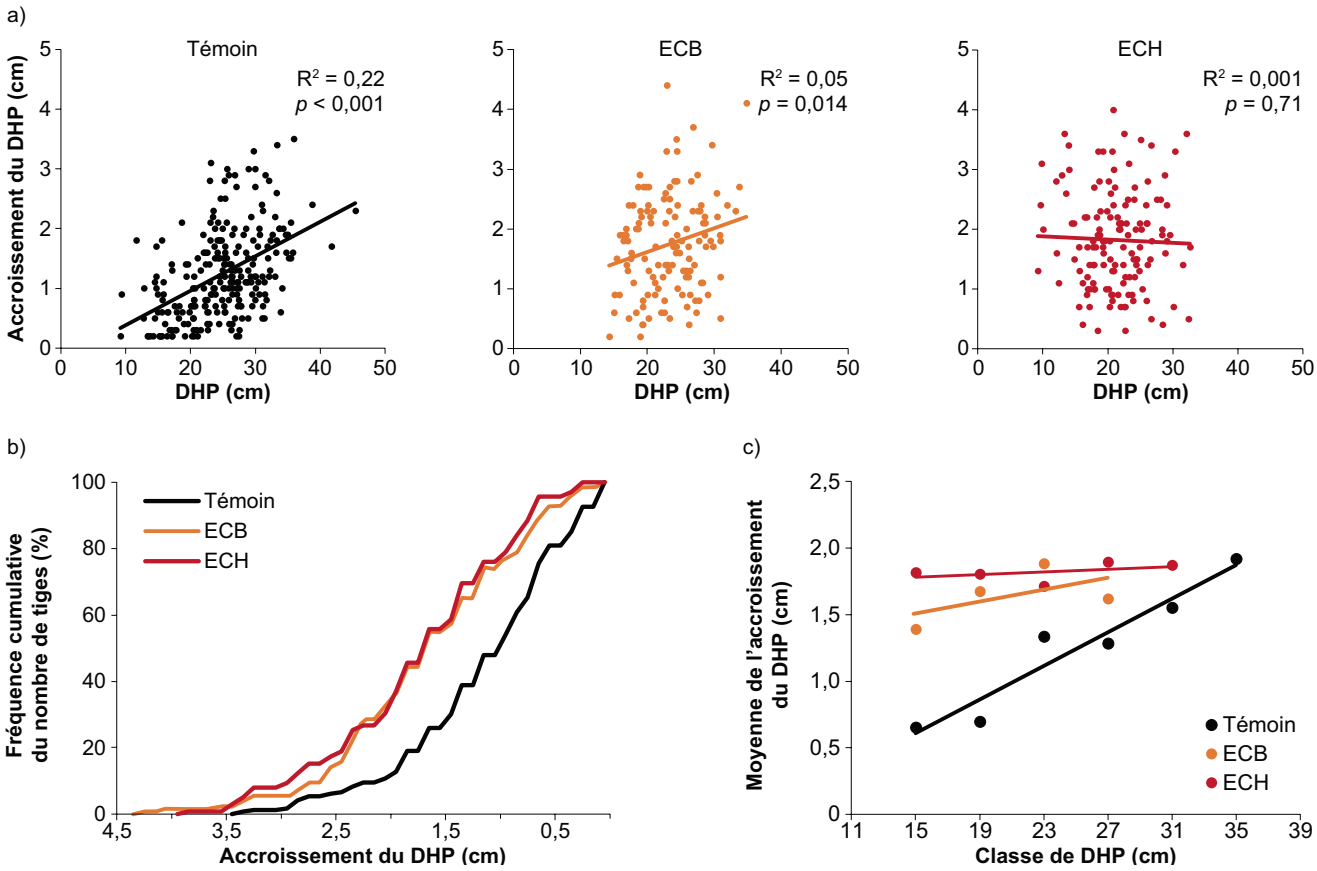

Figure 11. Croissance en diamètre du bouleau à papier sur une période de 10 ans dans chacune des parcelles : a) accroissement du DHP en fonction du DHP avant la coupe; b) fréquence cumulative du nombre de tiges en fonction des accroissements du DHP; c) moyenne de l'accroissement du DHP en fonction de la classe de DHP avant la coupe. ECB : éclaircie par le bas; ECH : éclaircie par le haut.

la parcelle ECB (2,0 $m^2 \cdot ha^{-1}$). La parcelle témoin a présenté une production par accroissement des survivants plus grande de 1,1 $m^2 \cdot ha^{-1}$ que celle des parcelles éclaircies, mais comme la surface terrière y est plus du double de celle des parcelles éclaircies, la production relative des survivants par rapport à la surface terrière a été plus faible que dans les parcelles éclaircies (14 % contre 21 et 25 %, tableau 5).

2.3.4.2 Bouleau à papier

La production nette du bouleau à papier de DHP ≥ 9,1 cm a été négative pour toutes les parcelles sur la période de 10 ans, mais davantage dans les parcelles éclaircies (–1,4 $m^2 \cdot ha^{-1}$ dans la parcelle ECH et –0,7 $m^2 \cdot ha^{-1}$ dans la parcelle ECB, tableau 5) que dans la parcelle témoin (–0,4 $m^2 \cdot ha^{-1}$). Cela vaut autant pour les valeurs absolues que relatives (tableau 5). La mortalité du bouleau à papier a toujours été plus forte que la production par accroissement des survivants, et le recrutement en bouleau à papier a été inexistant ou presque. La mortalité la plus forte a été observée dans la parcelle ECH, avec une valeur de 2,6 $m^2 \cdot ha^{-1}$ pour une surface terrière après coupe de 9,4 $m^2 \cdot ha^{-1}$, ce qui représente un taux de mortalité de 28 %. La parcelle témoin a présenté un taux de mortalité plus faible (12 %) que celui des parcelles éclaircies.

Si l'on ne tient compte que des bouleaux à papier de dimension de bois de sciage (DHP ≥ 23,1 cm), la production nette a été positive, mais faible dans les 3 parcelles (tableau 5). Elle a été la plus forte dans la parcelle témoin (1,4 $m^2 \cdot ha^{-1}$) et la plus faible dans la parcelle ECB (0,3 $m^2 \cdot ha^{-1}$). La parcelle ECH a présenté une production nette plus forte de 0,5 $m^2 \cdot ha^{-1}$ que la parcelle ECB, et plus de 3 fois plus grande en proportion de la surface terrière après la coupe (17 % contre 5 %). Cette plus grande production nette dans la parcelle ECH est associée à un recrutement de près du double (1,3 $m^2 \cdot ha^{-1}$) de celui de la parcelle ECB (0,7 $m^2 \cdot ha^{-1}$), correspondant à 29 recrues de DHP ≥ 23,1 cm contre 15. La production par accroissement des survivants, en proportion de la surface terrière après la coupe, a été identique (14 %) dans les 2 parcelles éclaircies (tableau 5). La parcelle témoin, avec une surface terrière en bouleaux à papier de DHP ≥ 23,1 cm plus grande que

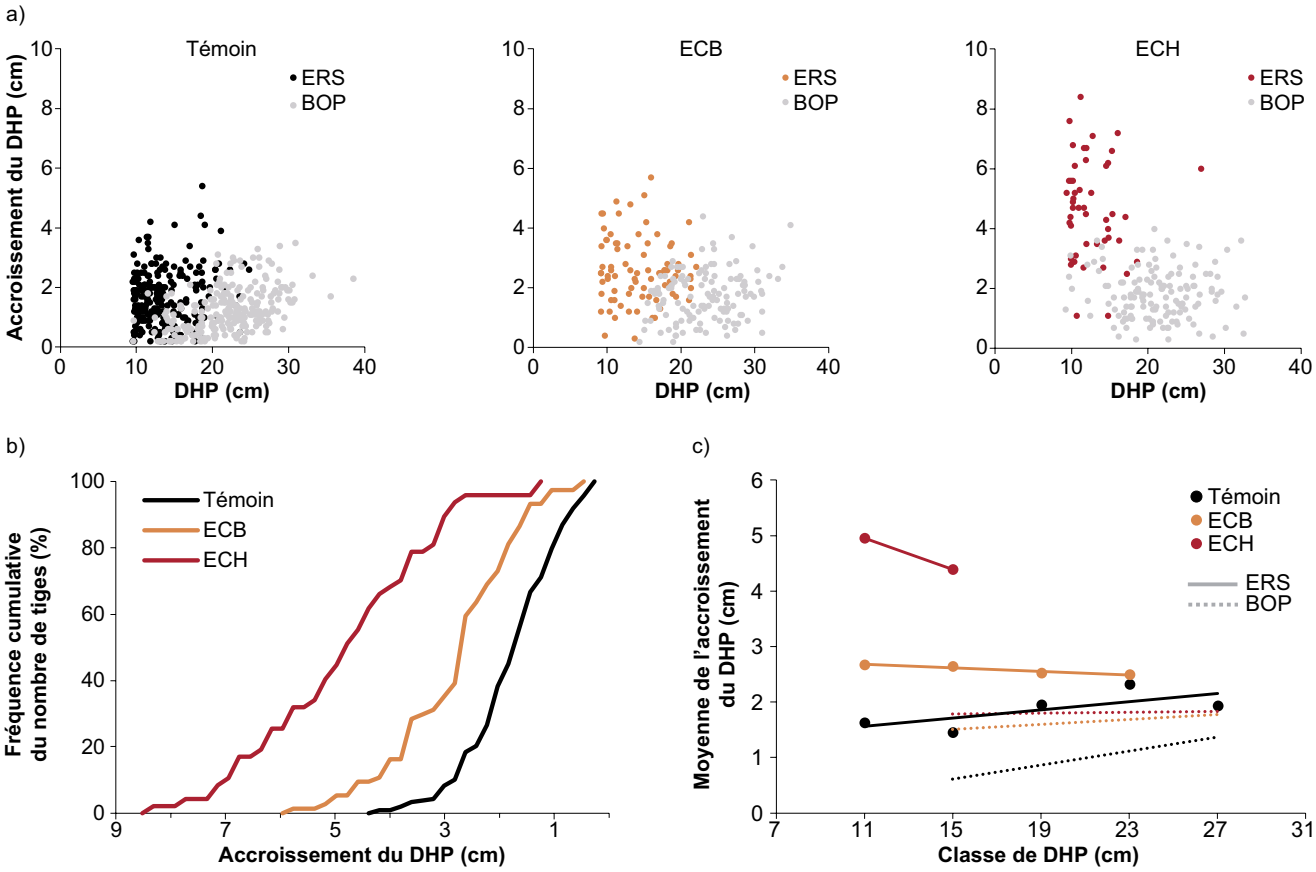

Figure 12. Croissance en diamètre de l'érable à sucre (ERS) sur une période de 10 ans dans chacune des parcelles : a) accroissement du DHP en fonction du DHP avant la coupe, en comparaison avec celui du bouleau à papier (BOP); b) fréquence cumulative du nombre de tiges en fonction des accroissements du DHP (DHP ≤ 20 cm); c) moyenne de l'accroissement du DHP en fonction de la classe de DHP avant la coupe, en comparaison avec celui du BOP. ECB : éclaircie par le bas; ECH : éclaircie par le haut.

Tableau 5. Surface terrière après la coupe et 10 ans après la coupe et bilan de production pour l'ensemble des espèces, le bouleau à papier et l'érable à sucre, dans chacune des parcelles.

			Surface terrière ($m^2 \cdot ha^{-1}$)		Bilan de production ($m^2 \cdot ha^{-1}$)†							
Espèce	DHP	Parcelle*	Après la coupe‡	10 ans après la coupe	$PROD_{nette}$		ACC SURV		REC		MORT	
Toutes espèces	≥ 9,1 cm	ECB	11,5	12,2	**0,7**	(6 %)	2,0	(21 %)	0,7	(6 %)	–2,0	(–18 %)
		ECH	10,8	10,6	**–0,1**	(–1 %)	2,0	(25 %)	0,7	(6 %)	–2,8	(–26 %)
		Témoin	25,1	26,1	**1,0**	(4 %)	3,1	(14 %)	0,6	(2 %)	–2,8	(–11 %)
Bouleau à papier	≥ 9,1 cm	ECB	9,2	8,6	**–0,7**	(–7 %)	1,1	(15 %)	0	(0 %)	–1,8	(–20 %)
		ECH	9,4	8,0	**–1,4**	(–15 %)	1,2	(17 %)	0,01	(0,1 %)	–2,6	(–28 %)
		Témoin	18,6	18,1	**–0,4**	(–2 %)	1,7	(10 %)	0	(0 %)	–2,1	(–12 %)
	≥ 23,1 cm	ECB	6,1	6,4	**0,3**	(5 %)	0,7	(14 %)	0,7	(11 %)	–1,1	(–18 %)
		ECH	4,5	5,3	**0,8**	(17 %)	0,5	(14 %)	1,3	(30 %)	–1,1	(–24 %)
		Témoin	14,0	15,4	**1,4**	(10 %)	1,4	(11 %)	0,8	(6 %)	–0,8	(–6 %)
Érable à sucre	≥ 9,1 cm	ECB	2,1	3,3	**1,2**	(58 %)	0,7	(38 %)	0,7	(33 %)	–0,2	(–9 %)
		ECH	0,9	2,2	**1,3**	(144 %)	0,7	(85 %)	0,6	(71 %)	–0,1	(–6 %)
		Témoin	5,6	7,1	**1,5**	(27 %)	1,3	(24 %)	0,6	(10 %)	–0,3	(–6 %)

* ECB : éclaircie par le bas; ECH : éclaircie par le haut.

† $PROD_{nette}$: production nette; ACC SURV : production par accroissement des survivants; REC : recrutement; MORT : mortalité. Les pourcentages entre parenthèses sont calculés par rapport aux valeurs après la coupe, sauf pour l'ACC SURV pour lequel le pourcentage est calculé par rapport aux valeurs après la coupe desquelles on a soustrait la mortalité.

‡ Pour la parcelle témoin, les valeurs de surface terrière après la coupe sont celles au début de la période de 10 ans, puisqu'aucune coupe n'a été pratiquée dans cette parcelle.

celle des parcelles éclaircies, a montré une production par accroissement des survivants plus grande, mais relativement plus faible en proportion de la surface terrière après la coupe (11 % contre 14 %). La mortalité y a été un peu plus faible que dans les parcelles éclaircies (0,8 contre 1,1 $m^2 \cdot ha^{-1}$), ce qui représente un taux de mortalité, sur la base de la surface terrière en début de période, de 3 à 4 fois moins élevé que dans les parcelles éclaircies (6 % contre 18 et 24 %). Le recrutement dans la parcelle témoin, quoique plus faible que dans la parcelle ECH, a été semblable à celui dans la parcelle ECB (tableau 5).

2.3.4.3 Érable à sucre

La production nette des érables à sucre de DHP ≥ 9,1 cm a été positive et plus forte que celle du bouleau à papier, avec des valeurs variant de 1,2 à 1,5 $m^2 \cdot ha^{-1}$ dans les 3 parcelles, et ce, malgré des surfaces terrières nettement inférieures à celles du bouleau à papier (tableau 5). Le recrutement de l'érable à sucre n'a pas été plus fort dans les parcelles éclaircies que dans la parcelle témoin (0,6 à 0,7 $m^2 \cdot ha^{-1}$), ce qui représente de 65 à 77 recrues à l'hectare. Pour les parcelles éclaircies, le recrutement a contribué autant que l'accroissement des survivants à la production nette. La mortalité de l'érable à sucre a été relativement faible pour les 3 parcelles, variant de 6 à 9 %, contrairement à celle du bouleau à papier, qui a varié de 12 à 28 %.

2.3.5 Qualité des arbres

2.3.5.1 Qualité de sciage 10 ans après la coupe

Dans la parcelle témoin, 10 ans après la coupe, 81 % des 233 bouleaux à papier de DHP ≥ 23,1 cm (DHP minimal requis pour le sciage) avaient les dimensions minimales pour appartenir à la classe de qualité de sciage C, 17 % avaient celles pour appartenir à la classe B et seulement 2 % avaient celles pour appartenir à la classe A (tableau 6a). Après l'évaluation des défauts, le classement sur pied montre que : sur 5,3 bouleaux de DHP ≥ 39,1 cm, 25 % se classait dans la classe de qualité maximale (A); sur les 37,3 bouleaux dans l'intervalle de DHP de 33,1 à 39,0 cm, un peu moins de la moitié (43 %) se classaient effectivement dans la classe de qualité maximale (B) pour cet intervalle; et sur les 180,0 bouleaux dans l'intervalle de DHP de 23,1 à 33,0 cm, 87 % se classaient dans la classe de qualité maximale (C) pour cet intervalle. En définitive, dans la parcelle témoin, 10 ans après la coupe, moins de

Tableau 6. Nombre à l'hectare et proportion (entre parenthèses) de bouleaux à papier de DHP ≥ 23,1 cm, 10 ans après la coupe a) par intervalle de DHP et par classe de qualité maximale associée à chacun de ces intervalles; b) par classe de qualité de sciage.

a) par intervalle de DHP et par classe de qualité maximale associée à chaque intervalle

Parcelle*	Intervalle de DHP (cm)	Classe de qualité maximale associée à l'intervalle de DHP	Nombre de tiges·ha^{-1}		Nombre de tiges atteignant la classe de qualité maximale associée à l'intervalle de DHP†	
ECB	≥ 39,1	A	0	(0 %)	0	(0 %)
	33,1–39,0	B	5,3	(5 %)	1,3	(25 %)
	23,1–33,0	C	96,0	(95 %)	84,0	(88 %)
	Total (≥ 23,1)		**101,3**	**(100 %)**	**85,3**	**(84 %)**
ECH	≥ 39,1	A	0	(0 %)	0	(0 %)
	33,1–39,0	B	4,0	(4 %)	0	(0 %)
	23,1–33,0	C	86,7	(96 %)	77,3	(89 %)
	Total (≥ 23,1)		**90,7**	**(100 %)**	**77,3**	**(85 %)**
Témoin	≥ 39,1	A	5,3	(2 %)	1,3	(25 %)
	33,1–39,0	B	37,3	(17 %)	16,0	(43 %)
	23,1–33,0	C	180,0	(81 %)	156,0	(87 %)
	Total (≥ 23,1)		**222,7**	**(100 %)**	**173,3**	**(78 %)**

* ECB : éclaircie par le bas; ECH : éclaircie par le haut.

† Proportion du nombre total de BOP dans le même intervalle de DHP.

b) par classe de qualité de sciage

Parcelle*	Classe de qualité de sciage									
	A		B		C		D (non sciage)		Total	
ECB	0	(0 %)	1,3	(1,3 %)	85,3	(84 %)	14,7	(14 %)	101,3	(100 %)
ECH	0	(0 %)	0	(0 %)	81,3	(90 %)	9,3	(10 %)	90,7	(100 %)
Témoin	1,3	(0,6 %)	18,7	(8 %)	174,7	(78 %)	28,0	(13 %)	222,7	(100 %)

* ECB : éclaircie par le bas; ECH : éclaircie par le haut.

1 % des bouleaux à papier étaient de qualité A, 8 % étaient de qualité B et 78 % étaient de qualité C. Par ailleurs, 13 % des bouleaux de DHP ≥ 23,1 cm ne se classaient pas pour le sciage (classe D, tableau 6b).

Dans les parcelles éclaircies, 10 ans après la coupe, aucun bouleau à papier n'avait le diamètre minimal (DHP ≥ 39,1 cm) pour appartenir à la classe A, et seulement 4 à 5 % des bouleaux avaient les diamètres minimaux (DHP de 33,1 à 39,0 cm) pour appartenir à la classe B (tableau 6a). Après l'évaluation des défauts, très peu des bouleaux de cet intervalle de DHP (1,3 sur 5,3 dans la parcelle ECB et 0 sur 4,0 dans la parcelle ECH) se classaient dans la classe de qualité maximale (B). Pour l'intervalle de DHP de 23,1 à 33,0 cm, 88 % (ECB) et 89 % (ECH) des bouleaux se classaient dans la classe de qualité maximale (C) pour cet intervalle, soit une proportion semblable à celle du témoin (87 %). De plus, comme dans la parcelle témoin, de 10 à 14 % des bouleaux de DHP ≥ 23,1 cm étaient exclus des sciages (tableau 6b).

La proportion de bouleaux à papier qui atteignaient la classe de qualité maximale correspondant à leur diamètre, soit ceux qui présentaient peu de défauts pour le sciage, diminuait avec leur grosseur (tableau 6a). Les principaux défauts responsables de la perte de qualité des bouleaux à papier de DHP ≥ 23,1 cm étaient les nœuds et les courbures. Sur la face de classification, la moitié des bouleaux à papier (49 %) présentaient des nœuds qui affectent la zone externe de qualité, et 44 % présentaient une courbure ou un coude avec une flèche plus grande que 5 cm sur 3,7 m de longueur (non illustré).

On projette que 44 à 46 % des bouleaux à papier de DHP ≥ 29,1 cm, 10 ans après la coupe, pourraient atteindre la classe de qualité A, dans l'éventualité

où ils atteindraient un DHP d'au moins 39,1 cm (tableau 7), et que cette proportion pourrait atteindre 53 à 61 % si l'on inclut aussi la classe de qualité B. Comme la parcelle témoin contient plus de bouleaux à papier de DHP ≥ 29,1 cm que les parcelles éclaircies, on estime que 54, 20 et 12 bouleaux à papier à l'hectare pourraient atteindre les classes de qualité A et B dans les parcelles témoin, ECB et ECH, respectivement, en excluant toute mortalité.

2.3.5.2 Branches adventives

Douze ans après la coupe, près du tiers des bouleaux à papier de DHP ≥ 23,1 cm présentaient de nouvelles branches formées sur le fût. Cependant, comme la prolifération de ces branches adventives s'était produite à partir de la base du houppier et qu'elle ne s'était pas étendue très loin plus bas sur le fût, très peu de bouleaux à papier présentaient des branches adventives sur les premiers 5 m à partir du sol. En effet, sur les 139 bouleaux à papier inventoriés, 19 d'entre eux (14 %) présentaient 1 à 2 branches (diamètre > 1 cm) ou brindilles (diamètre > 1 cm) adventives sur les premiers 5 m à partir du sol.

La situation était tout autre pour les bouleaux jaunes de DHP ≥ 23,1 cm : sur les 6 tiges observées, toutes présentaient une prolifération de branches adventives, et les deux tiers présentaient une ou plusieurs branches adventives sur les premiers 5 m à partir du sol. Parmi les 21 bouleaux jaunes de DHP < 23,1 cm, un seul n'avait pas développé de branches adventives sur les premiers 5 m, et la moitié des arbres présentaient un houppier qui débutait à moins de 2,5 m du sol.

2.3.5.3 Carie

La carie de cœur, observée à partir des carottes de bois prélevées à 1,3 m du sol de la parcelle témoin, était présente chez 14 des 120 (soit 12 %) bouleaux à papier échantillonnés. Les deux tiers de ceux-ci ne présentaient qu'un début de carie, alors que l'autre tiers présentait une carie avancée au centre de la tige. L'examen des 14 bouleaux à papier cariés a révélé que 10 d'entre eux présentaient des défauts indicateurs de carie : 3 avaient des fentes, 5 avaient des ergots de grosses branches, 1 présentait une fourche à moins de 1,3 m du sol avec sa tige jumelle qui était morte, et 1 présentait une blessure. Les 4 autres bouleaux cariés ne présentaient pas de défauts particuliers, à part le fait que certains étaient penchés ou arqués.

2.3.5.4 Érable à sucre

Sans avoir formellement classifié la qualité des érables à sucre, nous avons noté que ces derniers étaient pour la plupart de mauvaise qualité, présentant des fûts déformés, des fentes et de la pourriture avec la présence fréquente du champignon *Oxyporus populinus* (Schumacker: Fries) Donk.

2.3.6 Mortalité du bouleau à papier

Dix ans après la coupe, le taux de mortalité du bouleau à papier, en proportion du nombre de tiges après la coupe, était plus élevé dans la parcelle ECH (31 %) que dans les parcelles ECB (20 %) ou témoin (19 %; tableau 8). Dans celle-ci, le taux de mortalité était particulièrement élevé dans la classe de DHP de 9,1 à 23,0 cm, avec plus du tiers des tiges mortes en 10 ans. Dans les autres classes de DHP, la mortalité était faible.

Dans les parcelles éclaircies, le taux de mortalité 10 ans après la coupe était aussi très élevé dans la classe de DHP de 9,1 à 23,0 cm (ECB : 23 % et ECH : 33 %). Celui dans la classe de DHP de 23,1 à 33,0 cm était plus de 2 fois plus élevé (16 %) dans la parcelle ECB et près de 4 fois plus élevé (26 %) dans la parcelle ECH que dans la parcelle témoin (7 %). Quant à la classe de DHP de 33,1 à 39,0 cm, 2 des 5 bouleaux à papier de la parcelle ECB étaient morts, ce qui représente un taux de mortalité de 40 %, comparativement à 1 seul bouleau à papier mort sur 19 (5 %) dans la parcelle témoin. Aucun bouleau à papier de cette classe de DHP n'était présent dans la parcelle ECH.

Dans la parcelle témoin, le taux de mortalité du bouleau à papier durant la période de 1-5 ans après la coupe (10 %) était semblable à celui de 11 % observé 6-10 ans après la coupe, alors qu'il a progressé dans les parcelles éclaircies, passant de 4 à 16 % dans la parcelle ECB et de 13 à 21 % dans la parcelle ECH (tableau 8). Cette progression est observée dans chacune des classes de DHP et est essentiellement attribuable à l'augmentation de la mort sur pied (M), puisque la mortalité causée par le vent (V) a diminué. Aucune mortalité due au vent n'a été observée dans la parcelle témoin, alors que dans les parcelles ECB et ECH, la proportion de bouleaux à papier touchés par ce type de mortalité a été de 19 % (6 sur 32; tableau 8) et de 27 % (17 sur 62), 10 ans après la coupe.

2.3.7 Armillaire

En moyenne, 8 ans après la coupe, 13 fois plus de sporophores du groupe de l'armillaire ont été dénombrés dans chacune des 2 parcelles éclaircies que dans la parcelle témoin. En effet, dans la parcelle témoin, 108 sporophores ont été dénombrés sur une superficie de 0,25 ha, et plus de la moitié des sous-parcelles présentaient un seul, voire

Tableau 7. Projection de la répartition entre les classes de qualité de sciage des bouleaux à papier de DHP ≥ 29,1 cm, 10 ans après la coupe, dans chacune des parcelles, lorsqu'ils atteindront un DHP de 39,1 cm. Les valeurs sont arrondies à l'entier près.

Variable	Parcelle*	Classe de qualité de sciage				Total
		A	B	C	D (non sciage)	
Nombre de tiges·ha^{-1}	ECB	17	3	12	5	37
	ECH	9	3	8	1	21
	Témoin	41	13	27	8	89
Proportion du total	ECB	46 %	7 %	32 %	14 %	100 %
	ECH	44 %	13 %	38 %	6 %	100 %
	Témoin	46 %	15 %	30 %	9 %	100 %

* ECB : éclaircie par le bas; ECH : éclaircie par le haut.

Tableau 8. Répartition par parcelle, par classe de DHP en début de période et par type de mortalité des bouleaux à papier par période quinquennale et 10 ans après la coupe. Les pourcentages représentent la proportion de tiges mortes par rapport au nombre de tiges vivantes en début de période.

Parcelle*	Classe de DHP après la coupe	Type de mortalité†	Nombre (tiges·ha^{-1}) et pourcentage de bouleaux à papier morts					
			1-5 ans après la coupe		6-10 ans après la coupe		1-10 ans après la coupe	
Témoin	9,1–23,0 cm	M	26	19 %	21	19 %	47	35 %
	23,1–33,0 cm	M	3	2 %	7	5 %	10	7 %
	33,1–39,0 cm	M	0	0 %	1	5 %	1	5 %
	≥ 39,1 cm	M+V	0	0 %	0	0 %	0	0 %
	≥ 9,1 cm	**Total**	**29**	**10 %**	**29**	**11 %**	**58**	**19 %**
ECB	9,1–23,0 cm	M	3	4 %	15	20 %	18	23 %
		V	0	0 %	0	0 %	0	0 %
		M+V	**3**	**4 %**	**15**	**20 %**	**18**	**23 %**
	23,1–33,0 cm	M	0	0 %	7	10 %	7	9 %
		V	3	4 %	2	3 %	5	7 %
		M+V	**3**	**4 %**	**9**	**13 %**	**12**	**16 %**
	33,1–39,0 cm	M	0	0 %	1	25 %	1	20 %
		V	**1**	**20 %**	**0**	**0 %**	**1**	**20 %**
		M+V	**1**	**20 %**	**1**	**25 %**	**2**	**40 %**
	≥ 9,1 cm	M	3	2 %	23	15 %	26	16 %
		V	4	3 %	2	1 %	6	4 %
		Total	**7**	**4 %**	**25**	**17 %**	**32**	**20 %**
ECH	9,1–23,0 cm	M	12	9 %	24	20 %	36	26 %
		V	8	6 %	2	2 %	10	7 %
		M+V	**20**	**14 %**	**26**	**22 %**	**46**	**33 %**
	23,1–33,0 cm	M	2	3 %	7	13 %	9	15 %
		V	4	6 %	3	5 %	7	11 %
		M+V	**6**	**10 %**	**10**	**18 %**	**16**	**26 %**
	33,1–39,0 cm	M+V	0	0 %	0	0 %	0	0 %
	≥ 9,1 cm	M	14	7 %	31	18 %	45	23 %
		V	12	6 %	5	3 %	17	9 %
		Total	**26**	**13 %**	**36**	**21 %**	**62**	**31 %**

* ECB : éclaircie par le bas; ECH : éclaircie par le haut.

† M : mort (naturelle) sur pied; V : mort causée par le vent (arbre vivant renversé ou cassé par le vent).

aucun sporophore (tableau 9). Dans les parcelles éclaircies, un sous-échantillon de 5 sous-parcelles montre un nombre élevé de sporophores avec, en moyenne, un peu plus de 50 sporophores par sous-parcelle, pour un total de 1 360 (ECH) et de 1 445 sporophores (ECB) sur une superficie de 0,25 ha. Deux espèces d'armillaires, soit *Armillaria ostoyae* (Romagn.) Herink et *A. gallica* Marxmüller et Romagnesi, ont été identifiées par les caractères macroscopiques, puis confirmées par des marqueurs moléculaires (Jean Bérubé, Service canadien des forêts, communication personnelle).

Tableau 9. Nombre de sporophores du groupe de l'armillaire présents dans les sous-parcelles carrées de 100 m^2 inventoriées sur une superficie de 50 m × 50 m à la 8^e année suivant la coupe.

Sous-parcelle	Parcelle*		
	Témoin	ECB	ECH
0	0		
1	1		
2	4	1	51
3	1		
4	0		
10	4	128	132
11	2		
12	0		
13	9		
14	0		
20	44		
21	1		
22	1	94	48
23	0		
24	0		
30	5		
31	6		
32	0		
33	0		
34	1	21	18
40	11		
41	4		
42	5	45	23
43	9		
44	0		
Moyenne	4,3	57,8	54,4
Total 0,25 ha	**108**	**1 445†**	**1 360†**

* ECB : éclaircie par le bas; ECH : éclaircie par le haut.

† Nombre de sporophores des 5 sous-parcelles (0,05 ha) ramené à une superficie de 0,25 ha

Chapitre trois

Discussion

Comme chacun des traitements correspondait à une seule parcelle, les comparaisons entre ceux-ci sont strictement descriptives et ne sont pas appuyées par des analyses statistiques. Il faut donc être prudent dans l'interprétation des résultats. Même si une attention particulière a été accordée à éliminer les sous-parcelles les plus dissemblables pour que le relief et le drainage soient plus homogènes entre les sous-parcelles restantes, les différences observées peuvent découler, dans une mesure plus ou moins grande, des caractéristiques de chacune des parcelles plutôt que des traitements eux-mêmes. D'autres études d'éclaircie seront nécessaires afin de venir appuyer les résultats des comparaisons décrites ici.

3.1 Caractéristiques de la bétulaie avant la coupe

La forêt étudiée est constituée d'un couvert dominé par le bouleau à papier accompagné par l'érable à sucre. Ces deux essences constituent près de 95 % du nombre de tiges du peuplement. Bien que ce peuplement, issu de feu, pousse sur un site riche et qu'il évolue vers l'érablière, le bouleau à papier (plutôt que l'érable à sucre) était l'espèce à aménager par l'éclaircie commerciale. En effet, même si le bouleau à papier ne représentait que la moitié du nombre de tiges marchandes, il constituait plus des deux tiers de la surface terrière et près de 80 % du volume marchand brut du peuplement. De plus, les érables à sucre présents étaient de faible diamètre et, le plus souvent, de mauvaise qualité.

Le patron de distribution de l'âge du bouleau à papier montre que ce dernier s'était établi rapidement après le passage du feu, et que 76 ans plus tard, une majorité de bouleaux étaient âgés de 67 à 72 ans à 1,3 m du sol. Toutefois, environ 10 % étaient âgés de 40 à 60 ans. Cela montre que le bouleau à papier a continué à s'établir pendant au moins 35 ans après le passage du feu. Le recrutement de cette espèce semble avoir cessé depuis un certain temps, puisqu'aucune gaule de bouleau n'a été dénombrée en 1998 avant la coupe.

La relation entre l'âge du bouleau à papier et son DHP montre que l'âge augmente avec la grosseur des arbres, mais qu'il existe une variation assez importante, surtout entre les tiges de petit diamètre. Plusieurs bouleaux à papier de DHP de 11 à 15 cm étaient âgés de plus de 65 ans, alors que d'autres tiges du même âge présentaient un DHP de plus de 30 cm. Ces observations tendent à démontrer que le bouleau à papier peut survivre et croître pendant une période relativement longue d'oppression et qu'il peut être plus tolérant à l'ombre qu'on le croit généralement (Peterson *et al.* 1997). Damman (1964) mentionne que le bouleau à papier aurait une meilleure tolérance à l'ombre sur les sites riches, comme celui de notre étude, que sur les sites pauvres.

L'historique de la croissance en diamètre des bouleaux à papier montre que les accroissements tant moyen que maximal par décennie n'ont cessé de diminuer depuis la période de 16-25 ans après le feu. Cette diminution est en partie causée par la compétition, mais semble aussi reliée au potentiel de croissance en diamètre du bouleau à papier, qui tend à diminuer à mesure que l'arbre grossit. En effet, l'accroissement maximal par décennie chez les plus gros bouleaux à papier diminue aussi avec le temps. Ce portrait de la croissance passée permet de constater qu'une stratification dans l'accroissement en diamètre des bouleaux à papier s'est effectuée très tôt dans la vie du peuplement et qu'elle s'est maintenue par la suite. Cette stratification semble en grande partie reliée à la période d'établissement après feu, puisque les bouleaux qui ont crû le plus rapidement durant la décennie de 16-25 ans après feu sont ceux qui, en moyenne, se sont établis plus tôt, et vice versa.

3.2 Croissance après éclaircie

L'accroissement décennal en diamètre du bouleau à papier est légèrement plus fort dans les parcelles éclaircies (de 1,6 à 2,0 cm pour les classes de DHP de 19 cm à 31 cm) que dans la parcelle témoin (de 0,7 à 1,6 cm). Ruel *et al.* (2012) et Solomon (1977) ont aussi montré que pour des peuplements de 60 à 70 ans, l'accroissement en diamètre du bouleau à papier augmentait à la suite d'une éclaircie, mais qu'il restait modeste. Sur une période de 12 ans suivant la coupe, Ruel *et al.* (2012) ont mesuré des accroissements annuels périodiques en rayon (0,63 $mm \cdot an^{-1}$) significativement plus faibles pour le témoin comparativement aux 2 types d'éclaircies (0,97 et 1,07 $mm \cdot an^{-1}$). Solomon (1977) a observé des accroissements en diamètre de 1,8 à 2,8 cm sur

une décennie pour les bouleaux à papier de DHP de plus de 26,7 cm dans un peuplement où la surface terrière résiduelle était de 9,2 et de 13,8 $m^2 \cdot ha^{-1}$ après la coupe.

L'accroissement en diamètre des bouleaux à papier a augmenté avec l'augmentation de leur diamètre dans la parcelle témoin ainsi que dans la parcelle ECB, mais pas dans la parcelle ECH, dans laquelle l'accroissement en diamètre des petits bouleaux était le plus fort. Ruel *et al.* (2012) ont aussi constaté que les petits bouleaux avaient des accroissements en diamètre plus faibles que les plus gros, autant après éclaircie que pour le traitement témoin.

L'éclaircie profite davantage à l'accroissement en diamètre des petites tiges; vraisemblablement, c'est parce que le statut lumineux des petites tiges a davantage augmenté à la suite de l'ouverture du couvert que celui des tiges dominantes, pour lesquelles il a peu changé. La différence de l'accroissement en diamètre des petits bouleaux à papier entre les 2 intensités d'éclaircie semble renforcer l'hypothèse d'une relation avec l'ouverture du couvert plutôt qu'avec la surface terrière résiduelle, puisque cette dernière est assez semblable dans les 2 parcelles éclaircies (11,5 et 10,8 $m^2 \cdot ha^{-1}$).

Comme la croissance en hauteur des tiges dominantes était faible dans ce peuplement, qui avait presque atteint sa hauteur maximale, on pourrait penser que les houppiers auraient poussé latéralement en occupant l'espace créé par l'éclaircie dans le couvert, ce qui aurait entraîné un effet positif sur la croissance en diamètre des arbres. Cela ne semble pas avoir été le cas, à en juger par le couvert qui ne s'est toujours pas refermé après 10 ans, puisque même la forme des houppiers, marquée par la compétition d'avant l'éclaircie, est restée pratiquement inchangée. Il semble donc que le houppier des bouleaux à papier dominants ait été peu dynamique et qu'il reflète possiblement un état de maturité que des auteurs américains disent survenir entre 60 et 90 ans (Safford 1983).

3.3 Production après éclaircie

Les éclaircies pratiquées dans le cadre de cette étude avaient pour objectif premier non pas de maximiser la production, mais plutôt de nous renseigner sur le potentiel de croissance en diamètre du bouleau à papier âgé de 70 ans. C'est pourquoi la surface terrière a été réduite de moitié dans les parcelles éclaircies. Aux faibles densités résultantes, la production nette de bouleau à papier de DHP ≥ 9,1 cm a été négative 10 ans après la coupe, tout comme dans la parcelle témoin, à cause d'une forte mortalité et d'un recrutement nul ou minime. Douze ans après la coupe, Ruel *et al.* (2012) ont obtenu une production positive, mais faible pour le bouleau à papier (de l'ordre de 0,2 $m^2 \cdot ha^{-1}$ pour le témoin et de 0,3 et 0,7 $m^2 \cdot ha^{-1}$ pour les 2 types d'éclaircie). Cependant, dans notre étude, si l'on ne considère que les bouleaux à papier de dimension de bois de sciage (DHP ≥ 23,1 cm), la production nette est devenue positive pour les 3 traitements, en grande partie grâce au recrutement en bouleaux à papier dans la classe de DHP ≥ 23,1 cm.

3.4 Mortalité

Sur une période de 10 ans, la mortalité sur pied des bouleaux à papier a été importante, tant dans la parcelle témoin que dans les parcelles éclaircies, mais elle a évolué différemment. Dans la parcelle témoin, elle est survenue en grande majorité chez les perches (DHP de 9,1 à 23,0 cm) et a été relativement égale durant la première et la deuxième période quinquennale. Par contraste, dans les parcelles éclaircies, une bonne proportion des gros bouleaux sont morts, et le taux de mortalité sur pied, de quasi nul durant la 1re période quinquennale, a plus que doublé durant la 2e période quinquennale. Dans la parcelle témoin, la mortalité s'explique bien par la forte densité du peuplement, mais pas dans le cas des parcelles éclaircies. La mortalité tardive observée dans ces dernières correspond davantage au dépérissement après coupe, par lequel le houppier meurt graduellement à partir de son sommet, entraînant la mort de l'arbre. De multiples facteurs (insolation, conditions climatiques, conditions hydriques du sol, bris de racines, insectes, champignons, etc.) ont été mis en cause pour expliquer ce phénomène (Hall 1933, Redmond 1957, Shigo 1969, Tremblay 1999), mais sans vraiment qu'il y ait unanimité. Pour notre étude, nous ne pouvons invoquer le bris des racines par la machinerie, puisque dans la parcelle ECH, la machinerie n'a pratiquement pas circulé.

Dans les 2 parcelles éclaircies, nous avons remarqué la présence de sporophores de l'armillaire sur les souches de bouleaux à papier dès la première année suivant la coupe, et ils étaient encore très nombreux 8 ans après la coupe. En revanche, dans la parcelle témoin, ces sporophores sont toujours restés peu nombreux. Comme l'armillaire est un champignon pathogène qui infecte les racines des arbres plus ou moins vigoureux et qu'il était déjà présent avant la coupe, il a colonisé les souches produites par l'éclaircie, un moyen idéal pour se propager (Stanosz et Patton 1990). Les arbres résiduels étaient alors plus à risque d'être infectés, notamment à cause des greffes racinaires et du déséquilibre physiologique engendré par l'éclaircie.

Cette hausse d'infection des arbres résiduels à la suite de coupes partielles est bien documentée pour les conifères (Morrison et Mallett 1996, Morrison *et al.* 2001), notamment à la suite d'un dégagement (Baleshta *et al.* 2005, Simard *et al.* 2005). Ainsi, le fait que la mortalité sur pied du bouleau à papier ait considérablement augmenté de la première à la deuxième période quinquennale après la coupe dans les parcelles éclaircies, mais que cela n'ait pas été le cas dans la parcelle témoin, tend à soutenir l'hypothèse que l'armillaire pourrait être une cause importante de la mortalité du bouleau à papier dans les parcelles éclaircies.

Il faut être prudent et éviter de transposer ces résultats de mortalité à d'autres bétulaies. En effet, comme la bétulaie de cette étude pousse sur un sol bien drainé qui renferme une bonne proportion de roches et de cailloux et abrite l'ostryer de Virginie, une espèce de milieux plutôt secs, on peut supposer que des épisodes de sécheresse surviennent dans cette bétulaie et favorisent l'infection des racines par l'armillaire (Wargo et Harrington 1991). D'ailleurs, Ruel *et al.* (2012) rapportent une mortalité moins forte que dans notre étude pour un peuplement mixte de bouleaux à papier et d'épinettes, et, contrairement à nos résultats, celle-ci a diminué dans le temps. La surface terrière résiduelle et l'âge des arbres sont aussi des facteurs qui influencent la mortalité du bouleau à papier après coupe (Marquis *et al.* 1969, Roy et al. 2001, Sims *et al.* 1990). Toutefois, comme la mortalité sur pied ne s'est vraiment révélée que durant la deuxième période quinquennale après la coupe, il serait imprudent d'évaluer son ampleur en ne se basant que sur les 5 premières années après la coupe (voir Schultz 1989).

3.5 Considérations sylvicoles

Afin de maximiser la production de cette bétulaie en bois d'œuvre de qualité, il semble préférable de la laisser croître, en effectuant ou non une éclaircie, plutôt que de procéder à une coupe de régénération. En effet, la proportion en surface terrière des bouleaux à papier de dimension de bois de sciage avant la coupe n'était que de 45 % dans ce peuplement de 70 ans, qui contenait 14 bouleaux à papier à l'hectare avec les dimensions minimales requises pour atteindre la classe de qualité B de sciage et à peine une tige à l'hectare pour la classe de qualité A. De plus, il y avait 35 bouleaux à papier de 29,1 à 33,0 cm de DHP à l'hectare qui n'auraient nécessité qu'une décennie ou deux pour atteindre les dimensions minimales de la classe B de sciage, soit 2,5 fois plus qu'actuellement. Il semble donc avantageux, du strict point de vue du nombre de bouleaux à papier de dimension de bois d'œuvre de qualité, de ne pas procéder à une coupe totale, mais soit d'effectuer une coupe partielle, soit de simplement laisser croître ce peuplement encore quelques dizaines d'années afin de récolter 2 à 3 fois plus de bois d'œuvre de qualité. Cependant, cette dernière option risque en même temps d'augmenter la proportion de cœur rouge (Drouin *et al.* 2010, Giroud *et al.* 2008), donc d'abaisser la proportion de bois d'aubier des bois de sciage.

Dans cette bétulaie, la pratique d'une éclaircie de forte intensité par le haut ou par le bas n'a pas permis, 10 ans après la coupe, d'obtenir des gains de croissance concluants par rapport à un témoin sans intervention. En effet, ces fortes éclaircies ont laissé un faible nombre de bouleaux à papier résiduels de DHP ≥ 23,1 cm, ont peu stimulé l'accroissement en diamètre de ceux-ci et ont entraîné une plus forte mortalité sur pied ainsi que par chablis ou par fût cassé. Une éclaircie de plus faible intensité aurait pu entraîner une mortalité moindre (Roy *et al.* 2001, Ruel *et al.* 2012), mais la rentabilité d'un tel traitement reste à vérifier.

Laisser croître cette bétulaie sans pratiquer de coupe est une option qu'on ne peut pas écarter à la lumière des résultats actuels. Cette avenue peut s'avérer valable lorsqu'on décide de ne pas poursuivre dans le temps la production du bouleau à papier, mais plutôt d'orienter la production de cette station (type écologique FE32) vers l'érable à sucre et le bouleau jaune. Une coupe de succession serait éventuellement pratiquée afin de faciliter la conversion du peuplement vers les espèces de fin de succession. Si l'on cherche à maximiser la production de bois d'œuvre de qualité de bouleau à papier sur une longue période plutôt qu'à maximiser la production de la bétulaie actuelle, la coupe de régénération pourrait s'avérer avantageuse, en autant qu'on envisage un scénario d'aménagement intensif pour le futur peuplement. En effet, en pratiquant une coupe de régénération immédiatement plutôt que dans 30 ans et en éclaircissant les bouleaux à papier régénérés, on peut espérer obtenir une croissance rapide et une cohorte de bouleaux à papier de qualité de DHP de 20 à 25 cm après 30 ans. Près de notre site d'étude, un bouleau à papier de DHP de 46 cm a été abattu; après analyse de sa croissance passée, ce bouleau montrait un DHP sans écorce de 28 cm à l'âge de 30 ans mesuré à 1,3 m du sol. Le bouleau à papier est une espèce qui croît très rapidement durant ses 20 à 30 premières années de vie (Marquis *et al.* 1969), et les éclaircies pratiquées en bas âge permettent de maintenir une croissance accélérée du bouleau à papier sans induire de mortalité excessive (LaBonte et Nash 1978, Simard *et al.* 2004, Voorhis 1990).

Conclusion

La bétulaie de 70 ans de notre étude était composée à 95 % de bouleaux à papier et d'érables à sucre et poussait sur un till épais qui offrait un bon drainage. Une éclaircie de forte intensité, qu'elle soit par le haut ou par le bas, n'est pas apparue comme une option sylvicole intéressante pour maximiser la production de bois de sciage de qualité. En effet, pour les 2 types d'éclaircies pratiquées, l'augmentation de la croissance en diamètre des bouleaux à papier de DHP $\geq$ 23,1 cm a été faible au cours des 10 années subséquentes, et la mortalité a été forte.

Il est peut-être plus avantageux de laisser croître la bétulaie pendant encore quelques dizaines d'années sans pratiquer d'éclaircie, afin d'obtenir un plus grand nombre de bouleaux à papier suffisamment gros pour atteindre les classes de qualité de sciage A et B. La pratique d'une coupe de régénération pourrait constituer une avenue valable à long terme, si un scénario d'aménagement intensif du bouleau à papier était prévu pour le futur peuplement.

Références bibliographiques

Baleshta, K.E., S.W. Simard, R.D. Guy et C.P. Chanway, 2005. *Reducing paper birch density increases Douglas-fir growth rate and Armillaria root disease incidence in southern interior British Columbia.* For. Ecol. Manage. 208: 1-13.

Blouin, D., G. Lessard, T. Rycabel et A. Patry, 2000. *L'application de différents traitements d'éclaircie commerciale dans les peuplements mixtes à dominance de bouleau à papier.* Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO). Rapport 2000-10. Québec, (QC). 76 p. [http://www.cerfo.qc.ca/index.php?id=18&no_cache=1&tx_drblob_pi1[downloadUid]=129]

Côté, S., D. Blouin et G. Lessard, 2007. *L'application de différents traitements d'éclaircie commerciale dans les peuplements mixtes à dominance de bouleau à papier — Suivi après 7 ans.* Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO). Rapport 2007-11. Québec, (QC). 83 p. [http://www.cerfo.qc.ca/index.php?id=18&no_cache=1&tx_drblob_pi1[downloadUid]=52]

Damman, A.W.H., 1964. *Some forest types of central Newfoundland and their relation to environmental factors.* For. Sci., Monograph 8 (Supplément au nº 4, 1er décembre1964). 62 p.

Dana, S.T., 1909. *Paper birch in the Northeast.* U.S.D.A. Forest Service, Circular nº 163. 37 p.

Drouin, M., R. Beauregard et I. Duchesne, 2010. *Impact of paper birch (*Betula papyrifera*) tree characteristics on lumber color, grade recovery, and lumber value.* For. Prod. J. 60(3): 236-243.

Gilbert, A.M. et V.S. Jensen, 1958. *A management guide for northern hardwoods in New England.* U.S.D.A. Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Upper Darby, PA (États-Unis). Research Paper NE-112. 22 p. [https://www.nrs.fs.fed.us/pubs/sp/sp_ne112.pdf]

Giroud, G., A. Cloutier et J. Alteyrac, 2008. *Occurrence, proportion, and vertical distribution of red heartwood in paper birch.* Can. J. For. Res. 38(7): 1996-2002.

Godbout, C., 2002. *Le problème de l'éclaircie commerciale des bétulaies blanches de 60 ans et plus. Revue de littérature*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Note de recherche forestière nº 115. 9 p. [http://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Godbout-Christian/Note115.pdf]

Godbout, C., 2008. *Longévité du bouleau à papier au Témiscamingue.* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Note de recherche forestière nº 133. 10 p. [http://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Godbout-Christian/Note133.pdf]

Gosselin, J., P. Grondin et J.-P. Saucier, 1999. *Rapport de classification écologique du sous-domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune de l'ouest.* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction des inventaires forestiers. 185 p. [https://mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/rc-erabliere-bouleau-jaune-ouest-55.pdf]

Hall, R.C., 1933. *Post-logging decadence in northern hardwoods.* University of Michigan, School of Forestry and Conservation, Bulletin nº 3. 63 p.

LaBonte, G.A. et R.W. Nash, 1978. *Cleaning and weeding paper birch — a 24-year case history.* J. For. 76(4): 223-225.

Leak, W.B. et H.G. Gove, 2008. *Growth of northern hardwoods in New England: a 25-year update.* North. J. Appl. For. 25(2): 103-105.

Marquis, D.A., D.S. Solomon et J.C. Bjorkbom, 1969. *A silvicultural guide for paper birch in the Northeast.* U.S.D.A. Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Upper Darby, PA (États-Unis). Research Paper NE-130. 47 p. [https://www.fs.fed.us/ne/newtown_square/publications/research_papers/pdfs/scanned/OCR/ne_rp130.pdf].

[MRNFP] Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, 2003. *Normes de cartographie écoforestière. Troisième inventaire écoforestier.* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction des inventaires forestiers. 95 p.

[MRNFP] Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, 2004a. *Ressources et industries forestières. Portrait statistique, édition 2004.* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction du développement de l'industrie des produits forestiers. Mise à jour de septembre 2004. [www.mffp.gouv.qc.ca/wp-content/uploads/Complete2004.pdf].

[MRNFP] Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, 2004b. *Classification des tiges d'essences feuillues. Normes techniques.* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction des inventaires forestiers. 73 p.

Morrison, D. et K. Mallett, 1996. *Silvicultural management of armillaria root disease in western Canadian forests.* Can. J. Plant Pathol. 18: 194-199.

Morrison, D.J., K.W. Pellow, A.F.L. Nemec, D.J. Norris et P. Semenoff, 2001. *Effects of selective cutting on the epidemiology of armillaria root disease in the southern interior of British Columbia.* Can. J. For. Res. 31: 59-70.

Nash, R.W., E.J. Duda et N.H. Gray 1951. *Studies on extensive dying, regeneration, and management of birch.* Maine Forest Service. Bulletin nº 15. Augusta, Maine (États-Unis). 82 p.

Perron, J.-Y., 1983. *Tarif de cubage général. Volume marchand brut.* Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Service de l'inventaire forestier. Québec. (QC). 52 p. [http://www.mffp.gouv.qc.ca/forets/inventaire/pdf/tarif-de-cubage-64.pdf]

Peterson, E.B., N.M. Peterson, S.W. Simard et J.R. Wang, 1997. *Paper birch managers' handbook for British Columbia.* Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre. FRDA Report 271, co-édité par le British Columbia Ministry of Forests. Victoria, (Colombie-Britannique). 133 p. [https://www.for.gov.bc.ca/hfd/pubs/docs/frr/frr271.htm]

Pothier, D. et F. Savard, 1998. *Actualisation des tables de production pour les principales espèces forestières du Québec.* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière, Direction des inventaires forestiers et Direction des programmes forestiers. 183 p. [https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/actualisation-tables-production.pdf]

Redmond, D.R., 1957. *The future of birch from the viewpoint of diseases and insects.* For. Chron. 33: 25-30.

Roy, V., R. Jobidon et L. Blais, 2001. *Étude des facteurs associés au dépérissement du bouleau à papier en peuplement résiduel après coupe.* For. Chron. 77(3): 509-517.

Ruel, M., D. Blouin, G. Lessard, P. Bournival et S. Côté, 2012. *Suivi 12 ans après l'application de deux traitements d'éclaircie commerciale dans les peuplements mixtes à dominance de bouleau à papier.* Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO). Rapport 2012-14. Québec, (QC). 88 p. + 1 annexe. [http://www.cerfo.qc.ca/index.php?id=18&no_cache=1&tx_drblob_pi1[downloadUid]=338]

Safford, L.O., 1983. *Silvicultural guide for paper birch in the Northeast (revised).* U.S.D.A. Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Broomall, PA (États-Unis). Research Paper NE-535. 29 p. [https://www.treesearch.fs.fed.us/pubs/15086]

Safford, L.O., J.C. Bjorkbom et J.C. Zasada, 1990. Betula papyrifera *Marsh.* Dans : Burns, R.M. et B.H. Honkala (coordonnateurs). *Silvics of North America, Vol. 2, Hardwoods.* U.S.D.A. Forest Service, Agriculture Handbook nº 654. Washington, DC (États-Unis). p. 158-171. [https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/misc/ag_654_vol2.pdf]

Saucier, J.-P., A. Robitaille, P. Grondin, J.-F. Bergeron et J. Gosselin, 2011. *Les régions écologiques du Québec méridional* (4e version). Carte à l'échelle de 1/1 250 000. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. [https://mffp.gouv.qc.ca/forets/inventaire/pdf/carte-regions-ecologiques.pdf]

Schultz, J.R., 1989. *Using disease resistant white pine to meet multiple resource objectives.* North. J. Appl. For. 6: 38-39.

Shigo, A.L., 1969. *Diseases of birch.* Dans : Doolittle, W.T et P.E. Bruns (compilateurs). *Birch symposium proceedings.* 19-21 August 1969, Durham, NH (États-Unis). U.S.D.A. Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Upper Darby, PA (États-Unis). p. 147-150. [https://www.fs.fed.us/nrs/pubs/other/1969/1969_birch-symposium-papers/21_1969-birch_shigo_p147-150.pdf]

Simard, S.W., T. Blenner-Hassett et I.R. Cameron, 2004. *Pre-commercial thinning effects on growth, yield and mortality in even-aged paper birch stands in British Columbia.* For. Ecol. Manage. 190: 163-178.

Simard, S.W., S.M. Hagerman, D.L. Sachs, J.L. Heineman et W.J. Mather, 2005. *Conifer growth,* Armillaria ostoyae *root disease, and plant diversity responses to broadleaf competition reduction in mixed forests of southern interior British Columbia.* Can. J. For. Res. 35(4): 843-859.

Sims, R.A., H.M. Kershaw et G.M. Wickware, 1990. *The autecology of major tree species in the north-central region of Ontario.* Forestry Canada, Ontario Region, Sault Ste. Marie, Ontario. COFRDA Report 3302. 126 p. [http://cfs.nrcan.gc.ca/pubwarehouse/pdfs/22213.pdf]

Solomon, D.S., 1977. *The influence of stand density and structure on growth of northern hardwoods in New England.* U.S.D.A. Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Upper Darby, PA (États-Unis). Research Paper NE-362. 13 p. [https://www.fs.fed.us/ne/newtown_square/publications/research_papers/pdfs/scanned/OCR/ne_rp362.pdf]

Stanosz, G.R. et R.F. Patton, 1990. *Stump colonization by* Armillaria *in Wisconsin aspen stands following clearcutting.* Eur. J. For. Patho. 20: 339–346.

Tremblay, V. 1999. *Dendroécologie du dépérissement du bouleau blanc (*Betula papyrifera *Marsh.) après coupe forestière dans la réserve faunique des Laurentides.* Mémoire de maîtrise. Université Laval. Québec, (QC). 58 p.

Voorhis, N., 1990. *Precommercial crop-tree thinning in a mixed northern hardwood stand.* U.S.D.A. Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Radnor, PA (États-Unis). Research Paper NE-640. 4 p. [https://www.fs.fed.us/ne/newtown_square/publications/research_papers/pdfs/scanned/OCR/ne_rp640.pdf]

Wargo, P.M. et T.C. Harrington, 1991. *Host stress and susceptibility.* Dans : Shaw, C.G., III, et G.A. Kile (éditeurs). *Armillaria root disease.* U.S.D.A. Forest Service, Agriculture Handbook nº 691. Washington D.C, WA (États-Unis), p. 88-101.

Planches

Planche 1. Illustration des parcelles 5 ans après la coupe (Photos : C. Godbout)

Parcelle témoin

Parcelle éclaircie par le bas (ECB)

Parcelle éclaircie par le haut (ECH)

Planche 2. Degré de fermeture du couvert 10 ans après la coupe dans les 3 parcelles à l'étude (Photos : C. Godbout).

Parcelle témoin

Parcelle éclaircie par le bas (ECB)

Parcelle éclaircie par le haut (ECH)

Planche 3. Type de sol sur lequel pousse la bétulaie (Photos : C. Godbout).

Renversé montrant le dépôt fortement pierreux

Podzol humo-ferrique plus ou moins développé

Planche 4. Diversité de l'écorce du bouleau à papier – I (Photos : C. Godbout).

Écorce blanche avec de fines exfoliations
et des lenticelles peu apparentes

Écorce blanche avec de larges exfoliations,
des lenticelles courtes et des nœuds non colorés

Écorce grisâtre avec d'abondantes exfoliations enroulées

Écorce blanchâtre légèrement exfoliée
avec des rugosités foncées par endroits

Planche 5. Diversité de l'écorce du bouleau à papier – II (Photos : C. Godbout).

Écorce blanchâtre avec de courtes exfoliations enroulées plutôt rigides et des lenticelles grisâtres

Écorce blanc de craie sans exfoliation et avec d'abondantes lenticelles foncées

Écorce dorée presque lisse ressemblant à celle d'un bouleau jaune

Deux bouleaux à papier, l'un avec l'écorce blanc de craie et l'autre avec l'écorce argentée et frisottée

Planche 6. Sporophores et signes d'infection par l'armillaire sur le bouleau à papier (Photos : C. Godbout).

Jeunes sporophores d'armillaire

Souche de bouleau à papier avec sporophores d'armillaire 1 an après la coupe. Notez les taches foncées sur l'écorce.

Taches foncées au pied d'un bouleau à papier vivant indiquant une infection par l'armillaire

Planche 7. Dommages causés par la faune à de petits érables rouges (Photos : C. Godbout).

Gaule cassée par un orignal

Écorce endommagée par un orignal

Écorce endommagée par un ours

Le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs a comme mandat, entre autres, d'assurer la gestion durable des forêts publiques québécoises. À cette fin, il conçoit et expérimente des traitements sylvicoles qui s'appuient sur l'autécologie des espèces et qui s'inspirent de la dynamique naturelle des forêts. Ces travaux servent notamment à définir les rendements ainsi que les modalités d'application des traitements sylvicoles.

Dans ce contexte, la Direction de la recherche forestière poursuit des travaux de recherche sur l'accroissement des forêts de bouleaux à papier après des coupes partielles dans le centre et l'ouest du Québec méridional. Ce mémoire de recherche forestière présente les premiers résultats de croissance et de rendement 10 ans après des éclaircies commerciales pratiquées dans une bétulaie à bouleau à papier de 70 ans, dans la région du Témiscamingue.

Forêts, Faune et Parcs
Québec

Le papier des pages intérieures de ce Mémoire de recherche forestière est fabriqué à 100 % avec des fibres recyclées.