



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



0 10 20 30 40 50 60 78 80 90 100

# Éclaircie commerciale d'une bétulaie à bouleau à papier de 100 ans en Mauricie : résultats 10 ans après la coupe

par Christian Godbout

MÉMOIRE DE RECHERCHE FORESTIÈRE N° 184

DIRECTION DE LA RECHERCHE FORESTIÈRE



# Éclaircie commerciale d'une bétulaie à bouleau à papier de 100 ans en Mauricie : résultats 10 ans après la coupe

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

MÉMOIRE DE RECHERCHE FORESTIÈRE N° 184

DIRECTION DE LA RECHERCHE FORESTIÈRE

Auteur de correspondance : [christian.godbout@mffp.gouv.qc.ca](mailto:christian.godbout@mffp.gouv.qc.ca)

# 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 est disponible dans le site Internet du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs à l'adresse : <https://mffp.gouv.qc.ca/le-ministere/publications/>.

Pour obtenir des renseignements complémentaires, veuillez vous adresser à :

Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs  
Direction de la recherche forestière  
2700, rue Einstein, Québec (Québec)  
Canada, G1P 3W8  
Courriel : [recherche.forestiere@mffp.gouv.qc.ca](mailto:recherche.forestiere@mffp.gouv.qc.ca)  
Internet : [mffp.gouv.qc.ca/les-forets/connaissances/recherche-developpement/](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., 2020. *Éclaircie commerciale d'une bétulaie à bouleau à papier de 100 ans en Mauricie : 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 n° 184. 51 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 (PDF) : 978-2-550-87035-7  
G.F.D.C. : 242--015 (714)  
L.C. : SD 396.5 397B5

## Notes biographiques



**Christian Godbout** est ingénieur forestier, diplômé de l'Université Laval en génie forestier (B. Sc., 1980), en écologie végétale (M. Sc., 1984) et en sciences forestières (Ph. D., 1991). De 1986 à 1989, il est chargé de projet au Centre de recherche en biologie forestière de l'Université Laval sur la biologie et l'écophysiologie des symbioses ectomycorhiziennes.

De 1990 à 1992, il est chargé de recherche à l'Institut de recherche en biologie végétale de l'Université de Montréal sur les symbioses ectomycorhiziennes. En 1992, il entre à la Direction de la recherche forestière comme chercheur en écologie forestière pour étudier la variabilité des sols forestiers ainsi que la composition et la dynamique des forêts anciennes. En 1999, il est affecté au Service de la sylviculture et du rendement des forêts, puis oriente ses recherches sur la sylviculture du bouleau à papier, du pin blanc et du pin rouge. Il poursuit actuellement ses recherches sur la sylviculture de ces espèces pour lesquelles il a acquis une expertise au fil du temps.



## Résumé

Traditionnellement, au Québec, les bétulaies à bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marshall) sont aménagées par coupe totale lorsqu'elles atteignent la classe d'âge de 70 ans. Comme cette espèce peut vivre plus de 200 ans, l'éclaircie commerciale pourrait être un moyen d'augmenter la valeur en bois d'œuvre de ces peuplements. Trois traitements ont été comparés dans une bétulaie à bouleau à papier de 100 ans près de La Tuque, en Mauricie (type écologique MJ22, indice de qualité de station de 18,2 m) : un témoin sans prélèvement (Témoin), une éclaircie de moyenne intensité avec prélèvement de 35 % du volume (EC<sub>35</sub>; surface terrière résiduelle : 18 m<sup>2</sup>/ha) et une éclaircie de forte intensité avec prélèvement de 50 % du volume (EC<sub>50</sub>; surface terrière résiduelle : 14 m<sup>2</sup>/ha).

La distribution diamétrale initiale du bouleau à papier diminuait avec l'augmentation de sa grosseur. Plusieurs petits boulevaux à papier (diamètre à hauteur de poitrine [DHP] de 9 à 12 cm) étaient âgés de plus de 75 ans. Près des trois quarts (soit un peu moins de la moitié de la surface terrière des boulevaux à papier du peuplement) n'avaient pas le DHP minimal requis (23,1 cm) pour produire une bille de sciage. Sur la trentaine de boulevaux à papier à l'hectare de DHP  $\geq$  33,1 cm, à peine 20 % étaient de qualité A ou B de sciage.

Après 10 ans, dans les parcelles témoins, l'accroissement en diamètre des boulevaux à papier augmentait significativement avec leur grosseur, alors que dans les parcelles éclaircies, cette relation entre l'accroissement et la grosseur variait en fonction de la structure diamétrale des parcelles. Ainsi, l'accroissement décennal en diamètre d'un bouleau à papier de DHP de 15 cm variait en moyenne de 1,0 à 1,3 cm dans les parcelles témoins, de 1,6 à 1,8 cm dans celles de l'EC<sub>35</sub> et de 2,0 à 2,6 cm dans celles

de l'EC<sub>50</sub>. Par comparaison, les valeurs correspondantes pour un bouleau de DHP de 30 cm étaient de 2,0 à 2,6 cm, de 2,3 à 3,3 cm et de 2,0 à 4,1 cm.

Pour les boulevaux à papier de dimensions de sciage (DHP  $\geq$  23,1 cm), la production décennale nette a été en moyenne de 3,1 m<sup>2</sup>/ha pour le Témoin, de 3,9 m<sup>2</sup>/ha pour l'EC<sub>35</sub> et 2,8 m<sup>2</sup>/ha pour l'EC<sub>50</sub>. Les traitements ne différaient pas significativement quant aux composantes de la production, sauf en ce qui concerne la mortalité, qui a été plus forte pour le Témoin.

À la suite des éclaircies, seulement quelques boulevaux à papier à l'hectare ont développé des branches adventives à moins de 5,5 m de hauteur sur le fût.

Comme le bouleau à papier est sensible au dépérissement après une coupe partielle et que l'armillaire (*Armillaria* (Fr.) Staude) peut contribuer à ce phénomène, les sporophores de ce champignon ont été inventoriés. Dès la première année après la coupe, ils ont été observés sur les souches des boulevaux à papier abattus. Dix ans plus tard, ils étaient présents sur la moitié d'entre elles, en particulier les plus grosses.

Dans cette bétulaie de 100 ans, l'éclaircie de moyenne intensité semble préférable à celle de forte intensité pour augmenter la production de boulevaux à papier de haute qualité. À partir de ces résultats, il ne faut pas présumer que les éclaircies doivent se pratiquer à un âge avancé dans les bétulaies à boulevaux à papier, bien au contraire. Comme la croissance en diamètre culmine très tôt dans la vie du bouleau à papier et qu'elle diminue ensuite, les interventions sylvicoles devraient être concentrées en bas âge afin d'exploiter au maximum le potentiel de croissance de cette espèce.

Mots-clés : armillaire, *Betula papyrifera*, bouleau à papier, croissance, éclaircie commerciale, qualité, rendement

## Abstract

Traditionally, in Quebec, paper birch (*Betula papyrifera* Marshall) stands are managed by total cuts when they reach the 70-year age class. Since the species can live for up to 200 years, commercial thinning could be a means to increase the timber value in these stands. Three treatments were compared in an almost 100-year-old paper birch stand near La Tuque, in the Mauricie region (ecological type: MJ22, site index: 18.2 m): an uncut control, a medium-intensity commercial thinning in which 35% of volume was harvested ( $CT_{35}$ ; residual basal area: 18 m<sup>2</sup>/ha) and a high-intensity commercial thinning in which 50% of volume was harvested ( $CT_{50}$ ; residual basal area: 14 m<sup>2</sup>/ha).

The initial diameter distribution of paper birch decreased as stem size increased. Several small paper birch trees (diameter at breast height [DBH]: 9 to 12 cm) were more than 75 years old. Almost two thirds of the trees (representing more than half of the stand's basal area for paper birch) did not have the minimum DBH (23.1 cm) required to produce a sawlog. Approximately 30 paper birch trees per hectare had a DBH  $\geq$  33.1 cm, but barely 20% of these reached quality grade A or B.

After 10 years, diameter increment of paper birch trees in the uncut control increased significantly according to tree size, while in the thinning treatments, the relation between diameter increment and stem size varied depending on the diameter distribution in each plot. Hence, for a paper birch with a DBH of 15 cm, 10-year increment varied from 1.0 to 1.3 cm in control plots, from 1.6 to 1.8 cm in  $CT_{35}$  plots and from 2.0 to 2.6 cm in  $CT_{50}$  plots.

By comparison, corresponding values for a 30-cm paper birch tree were respectively 2.0 to 2.6 cm, 2.3 to 3.3 cm and 2.0 to 4.1 cm.

For sawlog-sized paper birch trees (DBH  $\geq$  23.1 cm), 10-year net production averaged 3.1 m<sup>2</sup>/ha in the control, 3.9 m<sup>2</sup>/ha in the  $CT_{35}$  treatment and 2.8 m<sup>2</sup>/ha in the  $CT_{50}$  treatment. No significant differences among treatments were observed for the various components of production, except for mortality, which was greater in the control.

Following the thinnings, very few adventitious branches developed below 5.5 m on the bole of a small number of paper birch trees per hectare.

Since paper birch is subject to dieback after partial cuts, a phenomenon to which the root rot fungus *Armillaria* (Fr.) Staude may participate, sporophores of this fungus were surveyed. As early as one year after the thinnings, they were observed on the cut paper birch tree stumps. Ten years later, they were present on half, especially on the larger stumps.

To increase the production of high-quality paper birch trees in this 100-year-old birch stand, the medium-intensity thinning seems preferable to the high-intensity treatment. However, these results do not mean that paper birch stands should be thinned at a late age—far from it. Since the diameter increment of paper birch peaks at a young age and then decreases, applying silvicultural treatments in young stands is the best way to build on this species' growth potential.

**Keywords:** *Armillaria* root rot, *Betula papyrifera*, commercial thinning, growth, paper birch, quality, yield

# Remerciements

Mes remerciements s'adressent à M. Daniel Lebel, technicien forestier retraité de notre Direction, pour sa rigueur et son grand dévouement à gérer et exécuter les travaux de terrain durant les premières années du projet, ainsi qu'à M. Guy Brousseau, également technicien forestier retraité de notre Direction. Je remercie aussi la Compagnie Commonwealth Plywood Inc. pour son appui financier à ce projet, pour le prêt de son personnel technique et pour l'exécution de la coupe. En particulier, mes remerciements s'adressent à MM. Hubert Saint-Cyr et Pascal Gauthier du bureau de Sainte-Thérèse, ainsi qu'à M<sup>mes</sup> Sylvie Bacon et Anne Tétreault et MM. Claude Bronsard, Stéphane Caron, Nicolas Côté, Alain Devault et Philippe Marchand (étudiant) du bureau de La Tuque. Je tiens également à remercier l'équipe de bûcherons, MM. Julien Fortin et Laurier Girard, pour l'excellent travail d'abattage et de débusquage qu'ils ont réalisé.

Je tiens à remercier M<sup>me</sup> Marie-Claude Lambert, statisticienne de notre Direction, pour avoir effectué les analyses statistiques; je lui en suis entièrement redevable. Je remercie également M<sup>me</sup> Véronique Poirier et M. Jean Noël, tous deux techniciens spécialisés en géomatique, pour l'illustration des figures 1 et 2. Enfin, mes remerciements s'adressent à M. Steve Bédard, responsable de la révision scientifique, ainsi qu'à un réviseur anonyme et à M. Michel Huot pour leurs commentaires pertinents, de même qu'à l'équipe de diffusion et de transfert de connaissances, en particulier M<sup>me</sup> Denise Tousignant, M<sup>me</sup> Viviane St-Arnaud et M. Alexandre Dallaire-Théroux pour l'édition du document, ainsi qu'à M<sup>mes</sup> Maripierre Jalbert et Nathalie Langlois pour le graphisme et la mise en page.



# Table des matières

<b>Résumé</b> .....	v
<b>Abstract</b> .....	vi
<b>Remerciements</b> .....	vii
<b>Liste des abréviations et des termes particuliers utilisés dans cet ouvrage</b> .....	xiv
<b>Introduction</b> .....	1
<b>Chapitre 1 – Matériel et méthodes</b> .....	3
1.1 Site d'étude.....	3
1.2 Dispositif expérimental .....	3
1.3 Mesures avant la coupe.....	5
1.4 Martelage.....	5
1.5 Coupe d'éclaircie .....	5
1.6 Remesurages.....	6
1.7 Calculs .....	6
1.7.1 Volume marchand brut .....	6
1.7.2 Indice de qualité de station .....	6
1.7.3 Historique de croissance en diamètre du bouleau à papier.....	7
1.7.4 Production .....	7
1.8 Analyses statistiques .....	8
<b>Chapitre 2 – Résultats</b> .....	9
2.1 Avant la coupe .....	9
2.1.1 Nombre, surface terrière et volume.....	9
2.1.2 Âge .....	10
2.1.3 Indice de qualité de station .....	10
2.1.4 Historique de croissance du bouleau à papier.....	10
2.1.5 Mortalité .....	11
2.1.6 Répartition par classe de qualité.....	11
2.1.7 Fourches.....	11
2.2 Après la coupe.....	12
2.2.1 Éclaircie de moyenne intensité.....	12
2.2.2 Éclaircie de forte intensité .....	13
2.2.3 Répartition par classe de qualité.....	13
2.3 Dix ans après la coupe .....	15
2.3.1. Nombre, surface terrière et volume.....	15
2.3.2 Distribution diamétrale .....	15
2.3.3 Gaules .....	15
2.3.3.1 Espèces arborescentes.....	15
2.3.3.2 Espèces arbustives .....	15

2.3.4 Croissance en diamètre.....	17
2.3.5 Production.....	20
2.3.5.1 Arbres de DHP $\geq 9,1$ cm .....	20
2.3.5.1.1 Toutes les espèces .....	20
2.3.5.1.2 Bouleau à papier.....	22
2.3.5.2 Arbres de DHP $\geq 23,1$ cm .....	25
2.3.5.2.1 Toutes les espèces .....	25
2.3.5.2.2 Bouleau à papier.....	25
2.3.5.3 Classes de DHP de sciage.....	27
2.3.6 Branches adventives.....	29
2.3.7 Armillaire.....	29
<b>Chapitre 3 – Discussion .....</b>	<b>33</b>
3.1 Caractéristiques de la bétulaie avant la coupe.....	33
3.2 Croissance après éclaircie.....	33
3.3 Production après éclaircie .....	34
3.4 Branches adventives .....	35
3.5 Armillaire .....	35
3.6 Considérations sylvicoles .....	35
<b>Conclusion .....</b>	<b>37</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>39</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>43</b>
<b>Planches .....</b>	<b>45</b>

# Liste des tableaux

<b>Tableau 1.</b> Nombre de tiges, DHP moyen quadratique (DHPq), surface terrière et volume marchand brut (VMB) avant la coupe dans les 9 parcelles selon la classe de DHP, pour toutes les espèces ainsi que le bouleau à papier .....	9
<b>Tableau 2.</b> Nombre et proportion de bouleaux à papier de DHP $\geq 15,1$ cm dans les 3 parcelles du Témoin présentant au moins une fourche à une hauteur de 8,0 m ou moins, et hauteur moyenne de cette fourche (entre parenthèses : valeurs minimales et maximales observées) : a) selon la classe de DHP avant la coupe; b) selon la structure diamétrale .....	12
<b>Tableau 3.</b> Nombre de tiges à l'hectare, diamètre moyen quadratique (DHPq), surface terrière et volume marchand brut (VMB) avant la coupe, immédiatement après la coupe et 10 ans après la coupe, selon le traitement, pour l'ensemble des espèces et le bouleau à papier .....	14
<b>Tableau 4.</b> Nombre de tiges et surface terrière avant la coupe et après la coupe, et répartition du bouleau à papier par classe de qualité de sciage, en fonction des traitements et de la classe de DHP .....	16
<b>Tableau 5.</b> Nombre moyen de gaules (tiges de DHP de 1,1 à 9,0 cm) à l'hectare avant la coupe et 10 ans après la coupe pour les principales espèces arborescentes et arbustives en fonction des traitements .....	17
<b>Tableau 6.</b> Caractéristiques de chacune des 9 parcelles selon le traitement et la structure diamétrale : nombre de tiges, diamètre moyen quadratique (DHPq), et pourcentage de la surface terrière des bouleaux à papier de DHP $\geq 23,1$ cm après la coupe, et surface terrière avant la coupe des peupliers faux-trembles .....	19
<b>Tableau 7.</b> Surface terrière avant la coupe, immédiatement après la coupe et 10 ans après la coupe; bilan de production 10 ans après la coupe et taux de production, par traitement et par structure diamétrale, pour toutes les espèces et le bouleau à papier de DHP $\geq 9,1$ cm .....	23
<b>Tableau 8.</b> Surface terrière avant la coupe, immédiatement après la coupe et 10 ans après la coupe; bilan de production 10 ans après la coupe et taux de production, par traitement et par structure diamétrale, pour toutes les espèces et le bouleau à papier de DHP $\geq 23,1$ cm .....	26
<b>Tableau 9.</b> Bilan de la production décennale du bouleau à papier en nombre de tiges par classe minimale de DHP correspondant à la classe de qualité de sciage après la coupe. Seules les valeurs inférieures à 5 tiges/ha sont affichées à la décimale près .....	28
<b>Tableau 10.</b> Nombre d'arbres et leur proportion (%) avec et sans branches de plus de 30 cm de longueur sur une hauteur de 5,5 m à partir du sol, 3 ans et 11 ans après la coupe, en fonction de leur grosseur et du traitement, pour le bouleau à papier et le bouleau jaune .....	30
<b>Tableau 11.</b> Présence de sporophores d'armillaire à la 10 <sup>e</sup> année après la coupe sur le bouleau à papier, le peuplier faux-tremble et l'érable rouge en fonction de la catégorie d'arbre et du traitement (dans le cas du bouleau à papier) .....	31

# Liste des figures

<b>Figure 1.</b>	Carte de l'emplacement du site d'étude .....	3
<b>Figure 2.</b>	Carte de la répartition des parcelles expérimentales dans le dispositif. Traitements : Témoin (gris), EC <sub>35</sub> (bleu) et EC <sub>50</sub> (rouge) .....	4
<b>Figure 3.</b>	Distribution diamétrale de la bétulaie avant la coupe (moyenne des 9 parcelles) .....	9
<b>Figure 4.</b>	Structure d'âge du bouleau à papier (n = 70) et du peuplier faux-tremble (n = 15) évaluée avant la coupe sur une superficie de 40 m × 50 m dans le peuplement .....	10
<b>Figure 5.</b>	Relation entre l'âge mesuré à 30 cm du sol et le DHP des bouleaux à papier dans le peuplement avant la coupe .....	10
<b>Figure 6.</b>	Reconstitution historique des accroissements décennaux avant l'année de la coupe (2001) pour les bouleaux à papier de DHP type de 24 cm (n = 5) et de 40 cm (n = 4) : a) accroissement du DHP sans écorce; b) accroissement en surface terrière sans écorce .....	11
<b>Figure 7.</b>	Nombre de bouleaux à papier vivants et morts sur pied avant la coupe, par classe de DHP, pour l'ensemble des 9 parcelles .....	11
<b>Figure 8.</b>	Distribution diamétrale du bouleau à papier avant la coupe, immédiatement après la coupe et 10 ans après la coupe, dans chacune des parcelles, selon les traitements .....	13
<b>Figure 9.</b>	Nombre à l'hectare de tiges de DHP < 9,1 cm avant la coupe et 10 ans après la coupe, pour les principales espèces arborescentes, en fonction de la classe de DHP et du traitement .....	18
<b>Figure 10.</b>	Nombre à l'hectare de tiges de DHP < 9,1 cm avant la coupe et 10 ans après la coupe, pour les principales espèces arbustives, en fonction de la classe de DHP et du traitement .....	19
<b>Figure 11.</b>	Distribution diamétrale du bouleau à papier immédiatement après la coupe pour chacune des structures diamétrales (Petit, Moyen et Gros bois) et pour chacun des traitements .....	20
<b>Figure 12.</b>	Accroissement décennal du DHP des bouleaux à papier en fonction de leur DHP après la coupe, pour chacune des structures diamétrales d'un traitement (Petit, Moyen et Gros bois) .....	21
<b>Figure 13.</b>	Droites de régression de l'accroissement décennal du DHP du bouleau à papier en fonction de son DHP après la coupe, pour chacune des parcelles : a) selon le traitement; b) selon la structure diamétrale .....	22
<b>Figure 14.</b>	Accroissement décennal du DHP des bouleaux à papier de DHP de 15 cm (a) et de 30 cm (b), prédit par la droite de régression de l'accroissement décennal en diamètre en fonction du DHP après la coupe, selon le traitement et la structure diamétrale .....	22
<b>Figure 15.</b>	Surface terrière cumulée (arbres coupés et arbres sur pied après 10 ans) par traitement en fonction de la surface terrière avant la coupe, pour deux classes de DHP : a) pour toutes les espèces; b) pour le bouleau à papier .....	24
<b>Figure 16.</b>	Proportion de bouleaux à papier associés à la présence de sporophores d'armillaire, à la 10 <sup>e</sup> année suivant la coupe, en fonction de la classe de DHP, pour différentes catégories d'arbres (souches d'arbres abattus, arbres morts ou arbres vivants) .....	32

## Liste des annexes

<b>Annexe 1.</b> Régression linéaire entre le DHP du bouleau à papier après la coupe et l'accroissement en diamètre pour la décennie suivant la coupe .....	43
<b>Annexe 2.</b> Analyse de l'effet du traitement et du DHP immédiatement après la coupe sur l'accroissement en diamètre du bouleau à papier pour la décennie suivant la coupe .....	43
<b>Annexe 3.</b> Production (m <sup>2</sup> /ha) du bouleau à papier de DHP ≥ 23,1 cm pour la décennie suivant la coupe .....	44

## Liste des planches

<b>Planche 1.</b> Illustration du peuplement en période de feuillaison .....	45
<b>Planche 2.</b> Illustration du peuplement avant la feuillaison, 10 ans après la coupe .....	46
<b>Planche 3.</b> Illustration de la densité du couvert 10 ans après la coupe, selon les traitements .....	47
<b>Planche 4.</b> Illustrations du dépérissement du houppier chez le bouleau à papier .....	48
<b>Planche 5.</b> Illustration du passage du feu et de la pierrosité du sol .....	49
<b>Planche 6.</b> Exemples de défauts chez le bouleau à papier .....	50
<b>Planche 7.</b> Sporophores d'armillaire sur une souche de bouleau à papier, un an après la coupe .....	51

# Liste des abréviations et des termes particuliers utilisés dans cet ouvrage

APC	Immédiatement après la coupe
AVC	Avant la coupe
DHP	Diamètre à hauteur de poitrine, mesuré à 1,3 m du sol
DHP <sub>q</sub>	DHP moyen quadratique
H	Hauteur totale
VMB	Volume marchand brut
IQS	Indice de qualité de station

## Traitements

EC <sub>35</sub>	Le traitement d'éclaircie d'intensité moyenne (prélèvement d'en moyenne 35 % du volume marchand brut; surface terrière résiduelle moyenne de 18,4 m <sup>2</sup> /ha)
EC <sub>50</sub>	Le traitement d'éclaircie de forte intensité (prélèvement d'en moyenne 52 % du volume marchand brut; surface terrière résiduelle moyenne de 13,8 m <sup>2</sup> /ha)
Témoin	Le traitement témoin (aucun prélèvement)

## Structure diamétrale des parcelles

Petit bois	Structure diamétrale pour laquelle on compte à la fois le plus grand nombre de bouleaux à papier et le diamètre moyen quadratique le plus petit, pour un traitement donné
Moyen bois	Structure diamétrale pour laquelle le nombre de bouleaux à papier et le diamètre moyen quadratique ont des valeurs intermédiaires par rapport aux structures diamétrales de Petit et de Gros bois
Gros bois	Structure diamétrale pour laquelle on compte à la fois le plus petit nombre de bouleaux et le diamètre moyen quadratique le plus grand, pour un traitement donné

## Bilan de production

PROD <sub>nette</sub>	Production nette
ACC SURV	Production par accroissement des survivants
REC	Recrutement
MORT	Mortalité

# Introduction

Le bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marshall) est l'essence feuillue la plus abondante au Québec, puisqu'il représente 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 (VMB) estimé à près de 340 millions de mètres cubes (MRNF 2004). Pour cette espèce, la possibilité forestière est estimée à 4,1 millions de mètres cubes, soit 12 % de la possibilité forestière totale et 40 % de celle des feuillus au Québec (BFEC 2019). En forêt publique, dans les domaines bioclimatiques de l'érablière à bouleau jaune et de la sapinière à bouleau jaune, les bétulaies blanches<sup>1</sup> de densité A ou B<sup>2</sup> de la classe d'âge de 70 ans occupent plus de 250 000 ha, et celles de la classe d'âge de 90 ans, près de 30 000 ha.

Au Québec, la coupe totale est généralement pratiquée lorsque les peuplements non aménagés à dominance de bouleau à papier atteignent la classe d'âge de 70 ans. Comme ces bétulaies n'ont pas été aménagées dans le passé, la coupe génère peu de bouleaux à papier qui répondent aux critères minimaux de grosseur des classes de sciage de qualité A (diamètre à hauteur de poitrine [DHP]  $\geq 39,1$  cm) et B (DHP compris entre 33,1 et 39,0 cm) (MFFP 2014). Afin d'augmenter la quantité de bouleaux à papier de DHP  $> 33$  cm lors de la coupe finale et, ainsi, de maximiser la valeur des billes de sciage, il pourrait être avantageux de laisser ces bétulaies poursuivre leur croissance au-delà de 70 ans, soit en laissant le peuplement croître sans intervenir, soit en pratiquant une éclaircie. La longévité du bouleau à papier (plus de 200 ans; Godbout 2008) permettra au peuplement de poursuivre sa croissance pendant 30 à 40 ans de plus, sans problème de sénescence. Dans un tel contexte, la pratique d'une éclaircie commerciale offre plusieurs avantages, dont celui d'augmenter la croissance en diamètre des arbres résiduels par la réduction de la densité, et celui d'accroître la représentativité et la qualité du bouleau à papier dans le peuplement résiduel par le prélèvement des espèces non désirées et des arbres de moindre qualité. Ainsi, les gains en croissance seraient répartis sur des tiges d'essences désirées de haute qualité, et la production de bois de sciage serait maximisée.

Toutefois, les bénéfices potentiels de l'éclaircie commerciale demeurent incertains pour les bétulaies à bouleau à papier de 70 ans et plus, surtout en ce qui concerne le rendement en bouleau à papier des classes de qualité A et B. D'une part, ces peuplements sont souvent considérés comme matures ou près de leur maturité, et leur vigueur a commencé à décliner (Dana 1909, Gilbert et Jensen 1958, Safford 1983). D'autre part, la vigueur et la qualité des bouleaux à papier résiduels pourraient se dégrader en raison de leur aptitude à produire des branches adventives après un dégagement (Hutnik et Cunningham 1961) et de leur susceptibilité au dépérissement à la suite d'une coupe partielle (Safford *et al.* 1990). Sur ce dernier point, Marquis *et al.* (1969) recommandent de ne pas pratiquer de coupe partielle de forte intensité dans les bétulaies à bouleau à papier de plus de 60 ans, puisque du dépérissement y survient inévitablement parmi les bouleaux à papier parvenus ou presque à maturité.

La problématique du dépérissement du bouleau à papier après coupe est connue depuis longtemps (Hall 1933, Jensen 1940, Spaulding et MacAloney 1931). De nombreux facteurs ont été mis en cause, y compris l'armillaire (*Armillaria* (Fr.) Staude). Ce champignon basidiomycète attaque les racines des arbres vivants plus ou moins vigoureux pour éventuellement atteindre la base de tronc et détruire le cambium, causant la mort des arbres (Godbout 2019a). Après une coupe partielle, les populations d'armillaire augmentent, car les souches d'arbres abattus lui offrent une façon idéale de se propager dans tout le peuplement (Stanosz et Patton 1990). Cela peut augmenter le taux d'infection et de mortalité des arbres résiduels, comme c'est le cas chez les conifères (Morrison et Mallett 1996, Morrison *et al.* 2001).

Afin d'étudier les effets d'une éclaircie commerciale sur la croissance du bouleau à papier et la production de ces bétulaies, un dispositif expérimental comprenant un témoin et deux intensités d'éclaircie commerciale a été établi dans une bétulaie à bouleau à papier de 100 ans dans la région de La Tuque, en Mauricie. Une description de la bétulaie avant et après la coupe, de même que les

<sup>1</sup> Par bétulaie blanche, nous entendons les peuplements cartographiques de feuillus dans lesquels le bouleau à papier occupe plus de 50 % de la surface terrière des feuillus, de même que les peuplements mélangés à dominance feuillue dans lesquels le bouleau à papier occupe plus de 75 % de la surface terrière des feuillus.

<sup>2</sup> Une densité A correspond à un pourcentage de couverture des cimes de plus de 80 %, et une densité B, à un pourcentage de 60 % à 80 %.

résultats de croissance et de rendement 10 ans après la coupe, sont présentés dans cette étude. La présence de branches adventives sur le fût des bouleaux à papier a aussi été notée afin d'évaluer la possible détérioration de la qualité de leur bois, et les sporophores d'armillaire ont été inventoriés afin d'ajouter un possible élément pour expliquer la mortalité observée.

# Chapitre 1 – Matériel et méthodes

## 1.1 Site d'étude

La forêt d'expérimentation est située en Mauricie, à environ 25 km au nord-ouest de la ville de La Tuque (figure 1). Le peuplement étudié est une bétulaie à bouleau à papier de strate cartographique F BBBB A2 70, établie sur un till épais (1A) à drainage modéré, selon le 3<sup>e</sup> inventaire écoforestier (MRNF 2009). Elle est composée de bouleaux à papier accompagnés de peupliers faux-trembles (*Populus tremuloides* Michx.). Par endroits, ce dernier forme de petits îlots presque mono-spécifiques. La bétulaie croît sur une pente variant de faible à douce et est située sur le versant est d'un coteau, à une altitude variant de 300 à 350 m. Elle se trouve dans le sous-domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau jaune de l'Ouest, plus précisément dans la sous-région écologique des

Collines de la rivière Vermillon (4c-T; Gosselin 2002) où la température moyenne annuelle est de 2,5 °C, la durée de la saison de végétation varie de 160 à 170 jours, l'indice d'aridité oscille entre 50 et 125 et les précipitations annuelles moyennes varient de 900 à 1000 mm, avec une fraction nivale de 30 % (Robitaille et Saucier 1998). La végétation potentielle associée à la station est celle de la bétulaie jaune à sapin, et le type écologique est le MJ22 (Gosselin 2002). Le peuplement serait issu d'un feu survenu en 1923, selon les données cartographiques du 3<sup>e</sup> inventaire écoforestier.

## 1.2 Dispositif expérimental

À l'été 2001, 9 parcelles carrées de 50 m × 50 m (0,25 ha) ont été délimitées au théodolite (figure 2).

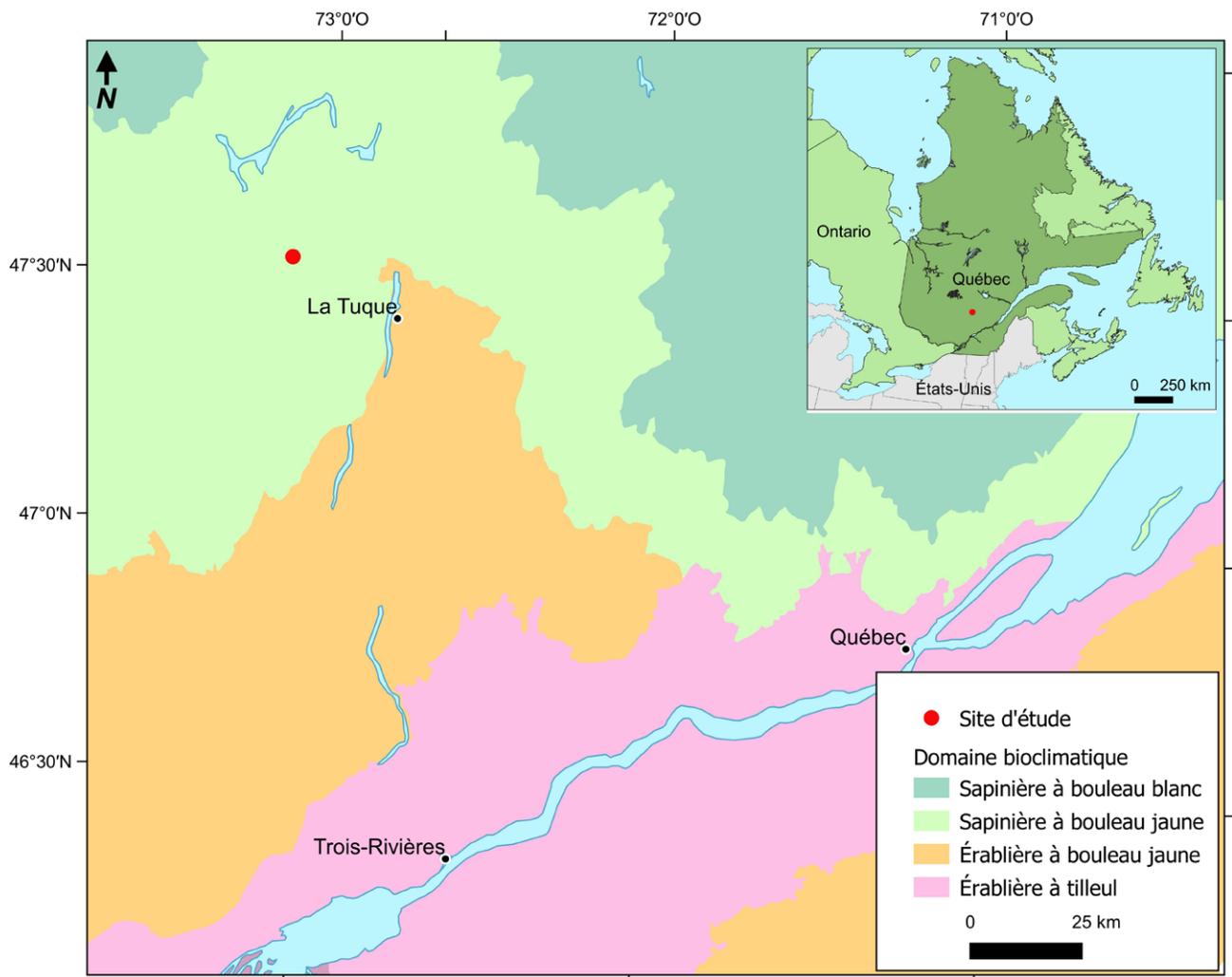
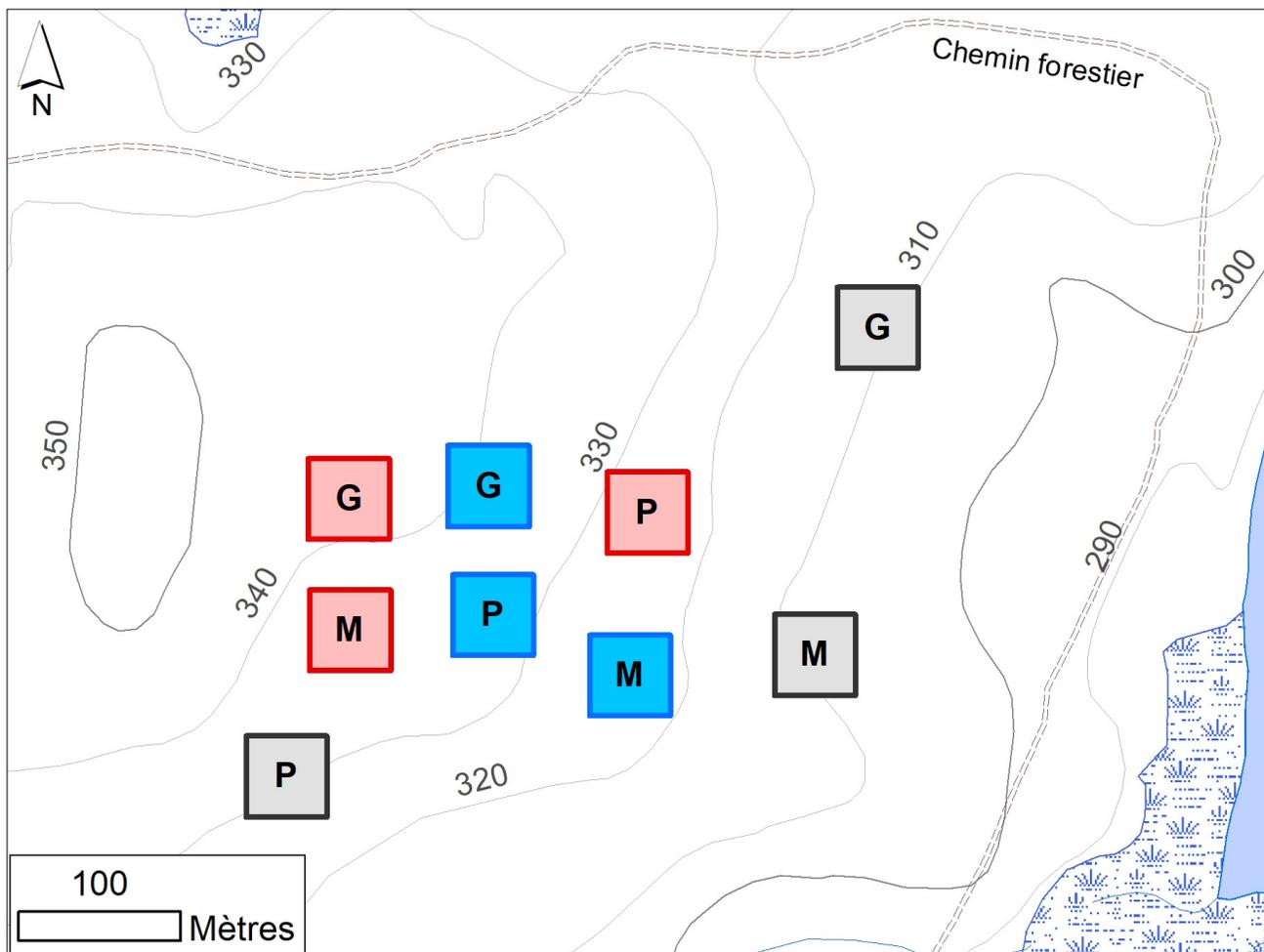


Figure 1. Carte de l'emplacement du site d'étude.

Chacune d'elles était entourée d'une bande de protection large d'au moins 20 m et était subdivisée par des piquets en 25 sous-parcelles carrées de 10 m × 10 m, elles-mêmes subdivisées en 4 sous-sous-parcelles de 5 m × 5 m. L'ensemble du dispositif expérimental comprend 3 blocs de 3 parcelles soumises chacune à l'un des 3 traitements : une éclaircie de moyenne intensité ( $EC_{35}$ ), une éclaircie de forte intensité ( $EC_{50}$ ) ou un traitement sans prélèvement (Témoin). Les parcelles avaient été établies le plus possible aux endroits qui présentaient une forte proportion de bouleaux à papier, mais certaines d'entre elles contenaient malgré tout une proportion significative de peupliers faux-trembles. Comme la bétulaie couvre tout le versant d'un coteau, du bas jusqu'au sommet, un gradient de densité et de grosseur des bouleaux était perceptible selon la position sur la pente. Ainsi, en haut de pente, les bouleaux à papier tendaient à être plus gros et en densité moindre qu'en bas de pente, et quelques petits érables à sucre (*Acer saccharum* Marshall) pouvaient être présents.

Les 3 blocs du dispositif ne sont pas contigus (figure 2); ils ont été constitués afin de tenir compte des différences dans la composition et la structure diamétrale des parcelles. Le premier bloc (Petit bois) regroupe les parcelles avec une structure diamétrale dans laquelle les petits diamètres prédominent et où les peupliers faux-trembles sont souvent plus présents. Le deuxième bloc (Moyen bois) regroupe les parcelles avec une structure diamétrale dans laquelle les diamètres de moyennes dimensions prédominent et où les bouleaux à papier sont en forte densité. Le troisième bloc (Gros bois) regroupe les parcelles avec une structure diamétrale dans laquelle les gros diamètres prédominent et où la densité en bouleaux à papier est un peu plus faible. Chacune des 9 parcelles (unités expérimentales) correspond donc à une combinaison unique de traitement et de structure diamétrale.

L'assignation des 3 traitements à chacune des 3 parcelles d'un bloc n'a pas toujours été faite de manière aléatoire. Dans le bloc de Petit bois, les traitements ont été assignés en fonction de la



**Figure 2.** Carte de la répartition des parcelles expérimentales dans le dispositif. Traitements : Témoin (gris),  $EC_{35}$  (bleu) et  $EC_{50}$  (rouge). Structure diamétrale : Petit bois (P), Moyen bois (M) et Gros bois (G).

proportion de peupliers, et non au hasard. Ainsi, le traitement de l'éclaircie forte ( $EC_{50}$ ) a été assigné intentionnellement à la parcelle qui contenait 45 % de peupliers en volume. En effet, un traitement qui aurait laissé sur pied des peupliers de 75 ans était non désirable d'un point de vue sylvicole, puisque ceux-ci allaient se détériorer avec le temps; de plus, le rendement de cette parcelle aurait été moindre à cause de la forte mortalité des peupliers prévisible au bout de quelques décennies. De même, le traitement de l'éclaircie moyenne ( $EC_{35}$ ) a été assigné intentionnellement à la parcelle qui contenait 35 % de peupliers plutôt que de la voir, peut-être, assignée aléatoirement au traitement témoin. Dans le bloc représentant les Gros bois, le traitement témoin a été assigné intentionnellement à la parcelle qui présentait plusieurs bouleaux à papier de DHP de 45 à 50 cm afin de connaître la croissance de gros bouleaux à papier. Les autres traitements ont été distribués de façon aléatoire à l'intérieur de chaque bloc.

### 1.3 Mesures avant la coupe

Les arbres de taille marchande (DHP  $\geq 9,1$  cm) ont été numérotés, et leur DHP a été mesuré à l'aide d'un galon circonférentiel métallique ayant une précision de l'ordre du millimètre. La hauteur totale de 15 des 25 plus gros bouleaux à papier de chacune des parcelles a été mesurée à l'aide d'un clinomètre électronique (Vertex). Les gaules ont été dénombrées à l'aide d'un gabarit, par essence et par classe de DHP de 2 cm : pour les gaules d'espèces commerciales, les 9 sous-parcelles centrales de 10 m  $\times$  10 m de chaque parcelles ont été inventoriées (taux d'échantillonnage = 36 % de la superficie); pour les gaules d'espèces non commerciales, 2 sous-sous-parcelles de 5 m  $\times$  5 m ont été inventoriées dans chaque sous-parcelle retenue pour l'inventaire des espèces commerciales (taux d'échantillonnage = 18 % de la superficie).

Pour déterminer la structure d'âge de cette forêt, une aire de 0,2 ha (40 m  $\times$  50 m), située dans la bande de protection entre la parcelle de Petit bois et celle de Gros bois de l' $EC_{35}$  a été inventoriée. Une carotte de bois a été prélevée à 15 cm du sol dans le fût des arbres de DHP  $\geq 9,1$  cm à l'aide d'une tarière. En laboratoire, l'âge des arbres a été déterminé en dénombrant les cernes de croissance à l'aide d'une loupe binoculaire, puis en ajustant ce nombre en se référant à un cerne caractéristique de couleur blanchâtre (Sutton et Tardif 2005) correspondant à l'année 1951, présent à la fois chez le bouleau à papier et chez le peuplier faux-tremble. Ce cerne caractéristique correspond à la première année d'une infestation par la livrée des forêts qui a duré

4 ans dans la région étudiée, soit de 1951 à 1954 (information obtenue de la Direction de la protection des forêts du Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs [MFFP]). Au total, l'âge de 70 bouleaux à papier et de 15 peupliers faux-trembles a pu être déterminé. La distribution diamétrale (fréquences relatives) de ces bouleaux à papier suit de près celle des bouleaux à papier de l'ensemble des 9 parcelles; cet échantillon est donc représentatif de l'ensemble des bouleaux à papier de la bétulaie. L'âge a également été recensé sur 4 pins gris (*Pinus banksiana* Lamb.) échantillonnés dans la bande de protection de 4 autres parcelles.

### 1.4 Martelage

Comme les traitements d'éclaircie ( $EC_{35}$  et  $EC_{50}$ ) avaient pour objectif de maximiser la composition en bouleau à papier dans le peuplement résiduel ainsi que la qualité de ces arbres, nous avons appliqué les trois priorités de martelage suivantes :

- 1- Enlever tous les peupliers, puisque ceux-ci dominaient en hauteur le bouleau à papier et présentaient fréquemment des signes de carie (sporophores de *Phellinus tremulae* (Bondartsev) Bondartsev & Borisov).
- 2- Enlever les arbres non vigoureux (à fort risque de mourir d'ici la coupe finale) ou défectueux (dont la qualité de bois est mauvaise). Outre les défauts communément admis, comme les fentes et les sporophores, les bouleaux à papier avec une fourche à moins de 3,0 m du sol ou avec une courbure prononcée ont été considérés comme défectueux.
- 3- Enlever les arbres nuisant au développement du houppier des bouleaux à papier qui offraient le meilleur potentiel de croissance et de qualité, tout en évitant de couper des bouleaux à papier de DHP  $> 28$  cm exempts de défauts majeurs.

### 1.5 Coupe d'éclaircie

La coupe d'éclaircie a été réalisée en septembre 2001 par un bûcheron, à la scie à chaîne et en utilisant les techniques d'abattage directionnel afin de minimiser les bris de cime et les blessures aux arbres résiduels. La débusqueuse à câble n'a jamais circulé à l'intérieur des parcelles, et les arbres abattus ont été retirés des parcelles à l'aide du câble de la débusqueuse afin de minimiser le piétinement des racines et ses effets possibles sur le dépérissement du bouleau à papier (Shigo 1969).

Pour évaluer précisément la hauteur des arbres, la longueur totale de certains arbres a été mesurée

à l'aide d'un galon à mesurer une fois l'arbre abattu. De plus, des rondelles de bois ont été prélevées sur le fût à 0,3 m et à 1,3 m du sol, et 4 mesures d'épaisseur de l'écorce ont été prises sur chaque rondelle. Au laboratoire, 4 rayons par rondelle ont été tracés, distants de 90 degrés les uns des autres à partir du rayon le plus long. L'âge a été déterminé en dénombrant les cernes annuels à l'aide d'une loupe binoculaire, et la largeur des cernes annuels, avec le logiciel d'analyse d'images WinDendro<sup>MD</sup> v 6.3b (Régent Instruments inc.). Les séries d'accroissements annuels de chacun des rayons d'une rondelle ont été comparées et ajustées sur la base du cerne caractéristique de couleur blanchâtre (année 1951) décrit à la section 1.3.

## 1.6 Remesurages

À la 2<sup>e</sup> année suivant la coupe, la classe de qualité de sciage des bouleaux à papier a été évaluée d'après les normes de classification des tiges d'essences feuillues en vigueur sur les terres publiques du Québec (MRN 1995). Comme les défauts de classification et les flèches des coudes et des courbures ont été notées, leur classification a pu être actualisée aux normes de 2014 (MFFP 2014). Les réductions de volume pour les coudes et les courbures ont été calculées à l'aide des formules mathématiques utilisées dans les normes (MFFP 2014, annexe 1, p. 82) en utilisant les mêmes valeurs que celles indiquées dans les formules, à l'exception de la longueur affectée par le coude, qui a été mesurée sur le terrain et non estimée à une valeur moyenne de 125 cm.

Afin de savoir si de nouvelles branches se formaient sur le fût des bouleaux à papier et des bouleaux jaunes (*Betula alleghaniensis* Britton) à la suite de l'éclaircie, la hauteur des branches longues d'au moins 30 cm a été mesurée à la 3<sup>e</sup> et à la 11<sup>e</sup> année après la coupe. Une perche télescopique a servi pour mesurer la hauteur des branches à partir de 0,3 m au-dessus du sol et jusqu'à une hauteur de 5,5 m. Lors de la mesure à la 11<sup>e</sup> année, la présence des branches mesurées à la 3<sup>e</sup> année a été vérifiée systématiquement afin de déterminer avec assurance si d'anciennes branches avaient disparu et si de nouvelles branches s'étaient développées. De plus, la hauteur des fourches (relativement au creux de la fourche) a été notée jusqu'à une hauteur de 8,0 m à partir du sol.

À la 10<sup>e</sup> année suivant la coupe, le DHP des arbres de 9,1 cm et plus a été mesuré, de même que la hauteur totale de certains bouleaux à papier. Les gaules ont été dénombrées par essence et par classe de DHP de 2 cm à l'aide d'un gabarit, en échantillonnant les mêmes sous-parcelles qu'avant la coupe.

Au printemps de la 11<sup>e</sup> année suivant la coupe, les sporophores d'armillaire (*Armillaria* [Fr.] Staude) de l'automne précédent étaient encore présents, quoique noircis et ratatinés. Un inventaire exhaustif de leur présence chez les bouleaux à papier, les peupliers faux-trembles et les érables rouges (*Acer rubrum* L.) vivants a été réalisé, de même qu'un inventaire partiel sur les souches et les arbres morts durant la décennie après la coupe et toujours sur pied. Lorsqu'un doute subsistait sur l'identification des sporophores noircis, leur présence n'a pas été comptabilisée. Les sporophores étaient le plus souvent associés au pied des arbres et aux souches, parfois aux racines, et plus rarement sur le sol près du pied de l'arbre.

## 1.7 Calculs

### 1.7.1 Volume marchand brut

Le VMB a été calculé en appliquant une relation hauteur–DHP, puis en utilisant le tarif de cubage de Perron (2003). Pour les espèces autres que le bouleau à papier, les relations hauteur–DHP de l'unité de compilation 06151 du 4<sup>e</sup> inventaire écoforestier du MFFP ont été utilisées. Le plan de sondage de cette unité était celui dont la relation hauteur–DHP pour le bouleau à papier se rapprochait le plus de celle de nos parcelles (mieux que celle de l'unité de compilation 04352 qui couvre le territoire où se situe le dispositif), probablement parce que celles-ci sont situées sur une station plus fertile que la moyenne des parcelles inventoriées dans l'unité 04352.

Pour le bouleau à papier, une relation hauteur–DHP locale a été calculée en utilisant les mesures de DHP et de hauteur totale prises sur 33 bouleaux à papier dont le DHP variait de 9,1 cm à 39,4 cm : d'abord, les 24 bouleaux à papier abattus lors de la coupe (DHP de 22,9 à 39,4 cm) et dont la longueur totale a été mesurée au galon; ensuite, 9 plus petits bouleaux à papier (DHP de 9,1 à 16,3 cm) dont la hauteur a été mesurée 10 ans après la coupe à l'aide d'un clinomètre électronique. Le modèle mathématique  $H = a + b \times DHP + c/DHP$  a été utilisé pour exprimer la relation entre la hauteur totale ( $H$ ) et le DHP, avec l'équation suivante :

$$H = 27,333 - 0,031 \times DHP - 152,495/DHP \quad (R^2 = 0,86)$$

### 1.7.2 Indice de qualité de station

La hauteur dominante et l'indice de qualité de station (IQS) pour le bouleau à papier ont été calculés selon Pothier et Savard (1998) à partir de 20 bouleaux à papier abattus lors de la coupe sur lesquels des rondelles de bois ont été prélevées pour en déterminer l'âge, et dont la hauteur (longueur) a été mesurée à l'aide d'un galon une fois

les arbres abattus (section 1.5). L'IQS a été calculé séparément pour 2 groupes de bouleaux à papier d'âges différents, afin de connaître la variation dans l'estimation de l'IQS reliée à l'âge des arbres. Le premier groupe comportait 15 bouleaux à papier âgés de 92 à 97 ans (DHP variant de 26 à 42 cm) et faisant presque tous partie des 100 plus gros arbres à l'hectare. Le deuxième groupe comportait 5 bouleaux à papier âgés de 74 à 78 ans avec des DHP variant de 23 à 28 cm. L'âge à 1,0 m du sol a été estimé par une relation linéaire entre l'âge à 30 cm du sol et celui à 1,30 m du sol, et le DHP moyen des 100 plus gros arbres à l'hectare a été calculé en faisant la moyenne des 25 plus gros arbres de chacune des parcelles (0,25 ha). Aucune correction n'a été apportée au calcul de l'IQS, même si des années d'oppression de croissance en diamètre ont été observées et qu'elles ont pu ralentir momentanément la croissance en hauteur, en particulier lors de l'épisode d'infestation par la livrée des forêts au début des années 1950. L'IQS ainsi présenté sous-estime donc l'IQS potentiel de la station.

### **1.7.3 Historique de croissance en diamètre du bouleau à papier**

L'historique de la croissance en diamètre a été comparé pour des bouleaux à papier de 2 gros-seurs : ceux dont le DHP variait de 23 à 25 cm (4 arbres, représentant un DHP type de 24 cm) et ceux dont le DHP variait de 38 à 45 cm (5 arbres représentant un DHP type de 40 cm). Ces arbres ont été sélectionnés parmi ceux abattus lors de la coupe, sur lesquels des rondelles ont été prélevées (section 1.5). La valeur moyenne des accroissements annuels en diamètre sans écorce des 2 groupes a été calculée en trois étapes. D'abord, la moyenne de chacun des accroissements annuels pour l'ensemble des rayons d'une rondelle a été transformée en pourcentage de la somme totale de ces moyennes. Ensuite, la valeur du DHP type (24 cm ou 40 cm, selon le groupe) a été soustraite du double de l'épaisseur moyenne de l'écorce des rondelles du groupe, puis multipliée par les pourcentages annuels pour chacune des rondelles du groupe. Enfin, la moyenne annuelle de ces accroissements a été calculée pour l'ensemble des rondelles du groupe. Le DHP avec écorce a été calculé à partir de la valeur moyenne des accroissements annuels, en y additionnant l'épaisseur d'écorce; cette dernière a été calculée annuellement à partir de l'épaisseur d'écorce moyenne des rondelles de chacun des groupes, et ajustée selon les pourcentages annuels d'accroissement en diamètre.

Les accroissements annuels en surface terrière ont été calculés à partir des valeurs moyennes des accroissements en diamètre.

### **1.7.4 Production**

La surface terrière a été utilisée comme variable dans l'analyse de la production (ou du rendement). La production intègre 3 composantes : l'accroissement des survivants, le recrutement et la mortalité. La production par accroissement des survivants est définie comme l'accroissement en surface terrière des arbres vivants présents immédiatement après la coupe et qui sont toujours vivants 10 ans plus tard. Cette composante permet d'apprécier la production attribuable à la croissance des arbres. La production par recrutement est définie comme la surface terrière représentée par les nouveaux arbres de DHP  $\geq 9,1$  cm, soit ceux qui avaient un DHP  $< 9,1$  cm immédiatement après la coupe et qui, 10 ans plus tard, sont vivants et montrent un DHP  $\geq 9,1$  cm. Cette composante représente la contribution des nouveaux arbres à la production. La mortalité est définie comme la surface terrière des arbres de DHP  $\geq 9,1$  cm qui étaient vivants immédiatement après la coupe et qui sont morts 10 ans plus tard. Contrairement à l'accroissement des survivants et au recrutement, la mortalité représente une perte de production, car c'est une surface terrière qui est présente immédiatement après la coupe et qui est perdue après 10 ans. Elle est calculée à partir du DHP des arbres avant la coupe, et non à partir du DHP mesuré 10 ans plus tard. Ainsi, même si l'arbre a crû avant de mourir durant la période de 10 ans suivant la coupe, cette croissance n'est pas comptabilisée. La production nette est le rendement proprement dit de la forêt; il correspond aux gains (accroissement des survivants + recrutement) moins les pertes (mortalité). Un bilan de production a aussi été réalisé pour les arbres de dimension de bois d'œuvre, en fixant la limite inférieure du DHP à 23,1 cm au lieu de 9,1 cm.

La production a aussi été analysée par classe de DHP correspondant aux dimensions minimales des classes de qualité de sciage des tiges d'essences feuillues (MFFP 2014), en utilisant le nombre de tiges au lieu de la surface terrière. Pour la production en nombre de tiges, la composante de l'accroissement par les survivants est remplacée par celle du nombre de survivants, et cette composante n'entre pas dans le calcul de la production nette. De plus, une nouvelle composante a été ajoutée dans le bilan de la production par classe de DHP, soit celle du transfert d'une classe de DHP à une autre en raison de l'accroissement en diamètre des tiges présentes dans la classe de DHP en début de période, et qui

passent dans une classe de DHP plus gros en fin de période. La production nette résulte donc de la mortalité, du recrutement et du transfert de classe.

### 1.8 Analyses statistiques

Le dispositif expérimental est un plan expérimental en blocs aléatoires complets. Il comporte 9 unités expérimentales réparties en 3 blocs. Chacun des blocs regroupe 3 parcelles de 0,25 ha associées à l'un des traitements (Témoin, EC<sub>35</sub> ou EC<sub>50</sub>). Les traitements ont été considérés comme des facteurs fixes et les blocs, comme des facteurs aléatoires.

Des analyses statistiques de l'effet du traitement sur la croissance en diamètre et sur la production ont été réalisées, même si la randomisation (allocation aléatoire des traitements à l'intérieur des blocs) n'a pas été totalement respectée (voir la section 1.2). Les hypothèses de normalité des résidus et d'homogénéité de la variance ont été vérifiées graphiquement. Les analyses ont été réalisées à l'aide de la procédure MIXED du progiciel SAS (version 9.4). Les seuils des comparaisons multiples ont été ajustés selon une méthode utilisée par le progiciel et basée sur des simulations. Chacun des 3 blocs correspond à l'une des 3 structures diamétrales

(Petit, Moyen et Gros bois). Les résultats présentés et discutés en fonction des différentes structures diamétrales n'ont pu être testés statistiquement faute de répétition, et demeurent donc descriptifs. Cette absence de répétitions s'explique par le fait que la structure diamétrale ne faisait pas partie du plan expérimental initial; elle ne constituait donc pas une variable à étudier.

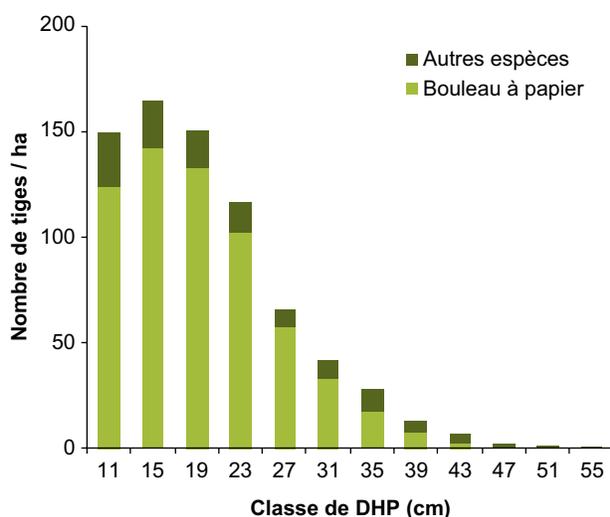
L'analyse statistique de la production et de ses composantes (accroissement des survivants, recrutement et mortalité) n'a été effectuée que pour les bouleaux à papier de dimensions de sciage (DHP  $\geq$  23,1), et non pour ceux de DHP  $\geq$  9,1 cm, ni pour l'ensemble des espèces, puisque ces sous-ensembles n'étaient pas indépendants les uns des autres. Ceci a permis d'éviter de faire des comparaisons erronées entre les sous-ensembles non indépendants. Le sous-ensemble représenté par les bouleaux à papier de dimensions de sciage a été choisi parce qu'il était le plus pertinent au regard des objectifs de la pratique de l'éclaircie. Puisque la randomisation des traitements n'a pas été totalement respectée, il faut interpréter avec prudence les analyses statistiques sur l'effet des traitements, car celui-ci pourrait être confondu avec l'effet d'autres variables.

## Chapitre 2 – Résultats

### 2.1 Avant la coupe

#### 2.1.1 Nombre, surface terrière et volume

Dans l'ensemble des 9 parcelles, il y avait en moyenne 742 tiges/ha (tableau 1), dont 84 % étaient du bouleau à papier (moyenne de 621 tiges/ha). Les deux autres espèces en importance étaient l'érable rouge (moyenne de 57 arbres/ha) et le peuplier faux-tremble (moyenne de 36 arbres/ha). L'érable rouge était essentiellement confiné aux classes de petits DHP, alors que le peuplier était surtout représenté dans les gros diamètres. La structure diamétrale du



**Figure 3.** Distribution diamétrale de la bétulaie avant la coupe (moyenne des 9 parcelles).

peuplement montrait une distribution étalée vers les tiges de gros diamètres (figure 3). Le nombre de tiges augmentait de 124 à 143 tiges/ha pour les classes de DHP de 11 cm à 15 cm, diminuait rapidement à 58 tiges/ha dans la classe de 27 cm, puis plus lentement vers les plus gros diamètres. Le plus gros bouleau à papier et le plus gros peuplier faux-tremble affichaient respectivement un DHP de 51 cm et de 53 cm.

Le DHP moyen quadratique (DHPq), toutes espèces confondues, était de 21,3 cm pour l'ensemble des 9 parcelles (tableau 1). Cette valeur était légèrement supérieure à celle du bouleau à papier (20,6 cm) en raison du gros DHPq des peupliers faux-trembles (34,5 cm).

La surface terrière moyenne, pour l'ensemble des 9 parcelles, était de 26,5 m<sup>2</sup>/ha, avec un peu plus des trois quarts (soit 20,7 m<sup>2</sup>/ha) en bouleau à papier (tableau 1). Le volume marchand brut (VMB), quant à lui, était de 219 m<sup>3</sup>/ha, avec près des trois quarts en bouleau à papier (168 m<sup>3</sup>/ha).

Les bouleaux à papier dont le DHP respectait les dimensions minimales de la classe de qualité C de sciage (DHP<sup>3</sup> de 23,1 à 33,0 cm) représentaient en moyenne 140 tiges/ha, soit 23 % du nombre de bouleaux à papier et 71 m<sup>3</sup>/ha (42 %) du VMB en bouleau à papier (tableau 1). Les bouleaux à papier avec un DHP compris entre 33,1 cm et 39,0 cm (dimensions minimales de la classe de

**Tableau 1.** Nombre de tiges, DHP moyen quadratique (DHPq), surface terrière et volume marchand brut (VMB) avant la coupe dans les 9 parcelles selon la classe de DHP, pour toutes les espèces ainsi que le bouleau à papier.

Espèce	Classe de DHP (cm)	Nombre de tiges/ha	DHPq (cm)	Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)	VMB (m <sup>3</sup> /ha)	Proportion		
						Nombre de tiges	Surface terrière	VMB
Toutes les espèces	≥ 39,1	17	43,4	2,5	26	2 %	9 %	12 %
	33,1 à 39,0	36	35,4	3,5	34	5 %	13 %	16 %
	23,1 à 33,0	164	27,0	9,4	84	22 %	36 %	38 %
	9,1 à 23,0	525	16,4	11,0	75	71 %	42 %	34 %
	≥ 23,1	217	30,1	15,4	144	29 %	58 %	66 %
	≥ 9,1	742	21,3	26,5	219	100 %	100 %	100 %
Bouleau à papier	≥ 39,1	7	42,0	0,9	9	1 %	4 %	5 %
	33,1 à 39,0	22	35,3	2,2	21	4 %	11 %	12 %
	23,1 à 33,0	140	26,9	7,9	71	23 %	38 %	42 %
	9,1 à 23,0	452	16,4	9,6	67	73 %	47 %	40 %
	≥ 23,1	169	28,9	11,1	101	27 %	53 %	60 %
	≥ 9,1	621	20,6	20,7	168	100 %	100 %	100 %

<sup>3</sup> Pour la classification des tiges d'essences feuillues sur pied, des seuils minimaux de DHP de 39,1 cm, de 33,1 cm et de 23,1 cm sont respectivement définis pour les classes de qualité A, B et C de sciage (MFFP 2014).

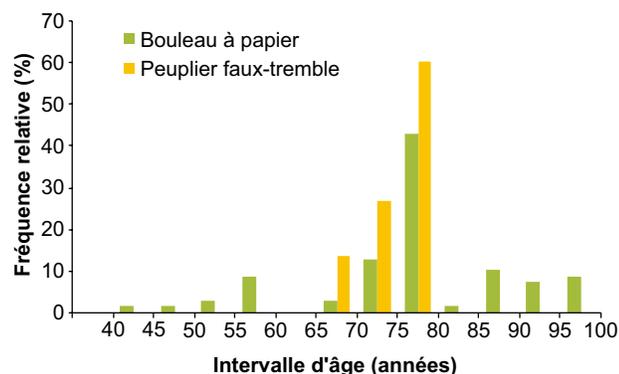
qualité B de sciage) ne représentaient en moyenne que 22 tiges/ha (4 %) des bouleaux à papier et 21 m<sup>3</sup>/ha (12 %) du VMB en bouleau à papier. Enfin, en moyenne, 7 bouleaux à papier à l'hectare (1,1 % du nombre de bouleaux à papier) étaient suffisamment gros (DHP  $\geq$  39,1 cm) pour atteindre les dimensions minimales de la classe de qualité A (la plus haute), ce qui ne représentait que 9 m<sup>3</sup>/ha (5 %) du VMB en bouleau à papier. Ainsi, près des trois quarts (73 %) des bouleaux à papier n'avaient pas le DHP minimal requis pour le bois de sciage : ils représentaient près de la moitié (47 %) de la surface terrière en bouleau à papier du peuplement et 40 % du VMB (tableau 1).

### 2.1.2 Âge

L'âge des bouleaux à papier mesuré à 30 cm du sol variait de 45 à 98 ans, et près de 45 % d'entre eux étaient âgés de 76 à 80 ans (figure 4). Pour le peuplier faux-tremble, l'âge variait de 69 à 80 ans, avec 60 % des arbres âgés de 76 à 80 ans. L'âge des 4 pins gris échantillonnés variait de 73 à 75 ans.

Trois cohortes principales semblaient coexister dans ce peuplement. La première regroupait les bouleaux à papier âgés de 45 à 60 ans, soit près de 15 % de leur nombre. La deuxième, et la plus importante, regroupait les bouleaux à papier âgés de 66 à 80 ans (59 %), de même que les peupliers faux-trembles et les pins gris. La troisième cohorte regroupait les bouleaux à papier âgés de 86 à 100 ans, représentant plus de 25 % des bouleaux à papier.

Une relation linéaire significative reliait l'âge et le DHP du bouleau à papier avant la coupe (figure 5), mais cette relation montrait beaucoup de variation. L'âge des plus petits bouleaux à papier (DHP de 9



**Figure 4.** Structure d'âge du bouleau à papier (n = 70) et du peuplier faux-tremble (n = 15) évaluée avant la coupe sur une superficie de 40 m × 50 m dans le peuplement. L'âge est celui mesuré à 30 cm du sol. Chaque classe d'âge exclut l'année antérieure et inclut l'année postérieure (par exemple, l'intervalle de 55 à 60 ans comprend les arbres âgés de 56 à 60 ans).

à 12 cm) variait de 45 à 80 ans, alors que celui des plus gros (30 à 39 cm) variait de 73 à 98 ans. Le DHP des arbres âgés de 76 à 80 ans variait de 9 à 28 cm, et un DHP aussi petit que 19 cm a été observé pour un âge de plus de 90 ans.

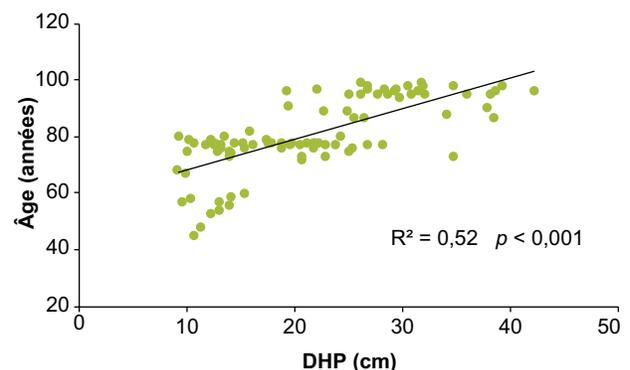
### 2.1.3 Indice de qualité de station

Pour le groupe des bouleaux à papier les plus vieux (soit ceux âgés de 92 à 97 ans; DHP moyen de 33 cm), la hauteur dominante (100 plus gros arbres/ha) calculée était de 22,0 m, ce qui correspond à un IQS de 18,2 m à 50 ans. Pour le deuxième groupe, constitué des bouleaux âgés de 74 à 78 ans (DHP moyen de 25 cm), la hauteur dominante calculée était de 20,9 m, ce qui correspond exactement au même IQS que pour le premier groupe, soit 18,2 m à 50 ans.

### 2.1.4 Historique de croissance du bouleau à papier

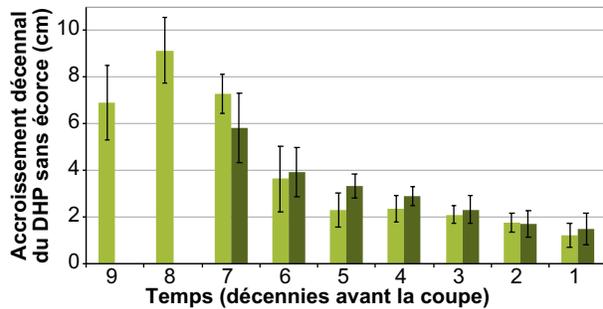
L'accroissement en diamètre des gros bouleaux à papier dominants, exprimé pour un DHP type de 40 cm et un âge de 92 ans, a culminé il y a 8 décennies lorsque l'âge se situait entre 13 et 22 ans alors que le DHP est passé de 8 à 18 cm (accroissement décennal moyen sans écorce de 9 cm; figure 6a). Celui-ci a diminué rapidement au cours des deux décennies suivantes, puis plus lentement jusqu'à environ 1,5 cm (0,6 à 2,1 cm) durant la dernière décennie (âge de 83 à 92 ans).

L'accroissement en diamètre des bouleaux à papier de dimensions moyennes, exprimé pour un DHP type de 24 cm et un âge de 73 ans, a été légèrement plus faible que celui des gros bouleaux à papier dominants (figure 6a). Pendant la première décennie, l'accroissement décennal a culminé à près de 6 cm, pour ensuite diminuer lentement et graduellement. Ces bouleaux ont mis plus de 70 ans à atteindre un DHP de 24 cm, alors que les gros bouleaux ont mis à peine plus de 30 ans pour atteindre cette grosseur.



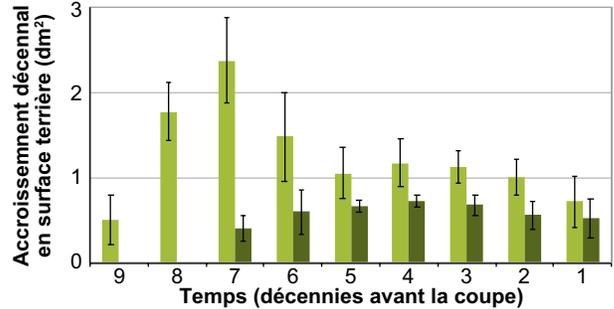
**Figure 5.** Relation entre l'âge mesuré à 30 cm du sol et le DHP des bouleaux à papier dans le peuplement avant la coupe.

a) Accroissement décennal en diamètre



DHP type	DHP avec écorce (cm)						
24 cm	8	12	15	18	21	22	24
40 cm	8	18	26	30	32	35	37

b) Accroissement décennal en surface terrière



**Figure 6.** Reconstitution historique des accroissements décennaux avant l’année de la coupe (2001) pour les bouleaux à papier de DHP type de 24 cm (n = 5) et de 40 cm (n = 4) : a) accroissement du DHP sans écorce; b) accroissement en surface terrière sans écorce. Les barres d’erreur indiquent l’écart type de la moyenne.

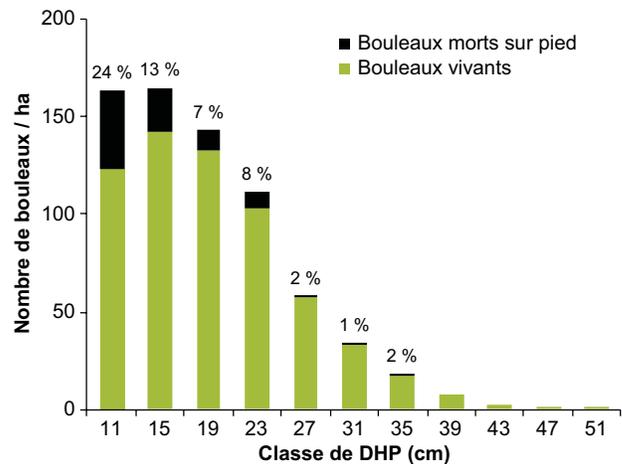
La croissance individuelle moyenne en surface terrière a presque toujours été plus grande pour les gros bouleaux à papier que pour ceux de dimensions moyennes, toutes décennies confondues (figure 6b). Pour les gros bouleaux, la croissance en surface terrière a présenté un schéma semblable à celui de la croissance en diamètre, mais a culminé une décennie plus tard. Pour les bouleaux de dimensions moyennes, ce schéma a différé de celui de la croissance en diamètre : la croissance en surface terrière a peu varié dans le temps et a culminé 3 décennies plus tard que la croissance en diamètre. Durant la décennie précédant la coupe, la croissance individuelle moyenne en surface terrière des deux groupes de bouleaux à papier a été comparable (0,7 dm<sup>2</sup> pour les gros bouleaux et 0,5 dm<sup>2</sup> pour ceux de dimensions moyennes, figure 6b).

### 2.1.5 Mortalité

Dans l’ensemble des 9 parcelles, il y avait 82 bouleaux à papier à l’hectare morts sur pied (arbres morts ne présentant que le fût et arbres morts avec leurs branches), ce qui représente 12 % du nombre total des bouleaux à papier vivants et morts du peuplement. Cette proportion a décliné rapidement avec l’augmentation du DHP, passant de 24 % pour la classe de 11 cm à 2 % pour la classe de 27 cm (figure 7). Le plus gros bouleau à papier mort sur pied avait un DHP de 34 cm.

### 2.1.6 Répartition par classe de qualité

Sur les 15 bouleaux à papier (6,7/ha) ayant les dimensions requises pour appartenir à la classe de qualité A (DHP ≥ 39,1 cm) dans l’ensemble des 9 parcelles, un seul (7 %) était de qualité A et 4 (27 %) étaient de qualité B. Sur les 50 bouleaux à papier (22,2/ha) ayant les dimensions requises pour



**Figure 7.** Nombre de bouleaux à papier vivants et morts sur pied avant la coupe, par classe de DHP, pour l’ensemble des 9 parcelles. Les valeurs au-dessus des colonnes indiquent le pourcentage de bouleaux morts pour la classe de DHP.

appartenir à la classe de qualité B (DHP compris entre 33,1 et 39,0 cm), seulement 7 (14 %) étaient de qualité B, et les autres étaient de qualité C ou D.

### 2.1.7 Fourches

En moyenne, dans les parcelles témoins, 13 % des bouleaux à papier de DHP ≥ 15,1 cm présentaient une fourche à 8,0 m de hauteur ou moins (tableau 2a). Parmi les bouleaux de dimensions de sciage (DHP ≥ 23,1 cm), 24 % présentaient une fourche à 8,0 m de hauteur ou moins, et 5 %, à 5,5 m ou moins (résultat non présenté). La proportion des bouleaux à papier avec une fourche augmentait avec leur grosseur (6 % pour un DHP de 15 à 19 cm, 24 % pour un DHP de 31 à 35 cm et 57 % pour un DHP de 39 à 43 cm; tableau 2a). De plus, la proportion de bouleaux à papier présentant une

**Tableau 2.** Nombre et proportion de bouleaux à papier de DHP  $\geq 15,1$  cm dans les 3 parcelles du Témoin présentant au moins une fourche à une hauteur de 8,0 m ou moins, et hauteur moyenne de cette fourche (entre parenthèses : valeurs minimales et maximales observées) : a) selon la classe de DHP avant la coupe; b) selon la structure diamétrale.

## a) Selon la classe de DHP avant la coupe

Classe de DHP (cm)	Nombre de bouleaux échantillonnés	Nombre de bouleaux avec une fourche	Proportion de bouleaux avec une fourche	Hauteur moyenne de la fourche (m)	
15,1 – 19,0	105	6	6 %	5,6	(2,5 – 7,7)
19,1 – 23,0	94	5	5 %	6,9	(5,4 – 8,0)
23,1 – 27,0	60	7	12 %	6,9	(4,4 – 8,0)
27,1 – 31,0	36	11	31 %	6,2	(2,8 – 8,0)
31,1 – 35,0	21	5	24 %	6,0	(3,4 – 7,6)
35,1 – 39,0	11	3	27 %	5,9	(5,5 – 6,1)
39,1 – 43,0	7	4	57 %	6,3	(4,7 – 7,8)
43,1 – 47,0	2	2	100 %	7,2	(6,5 – 7,9)
47,1 – 51,0	1	1	100 %	7,4	s. o.
Total	337	44	13 %	6,3	(2,5 – 8,0)
15,1 à 23,0	199	11	6 %	6,2	(2,5 – 8,0)
$\geq 23,1$	138	33	24 %	6,4	(2,8 – 8,0)

## b) Selon la structure diamétrale

Structure diamétrale	Nombre de bouleaux échantillonnés	Nombre de bouleaux avec une fourche	Proportion de bouleaux avec une fourche	Hauteur moyenne de la fourche (m)	
Petit bois	133	8	6 %	5,1	(2,5 – 7,8)
Moyen bois	116	20	17 %	6,5	(3,4 – 8,0)
Gros bois	88	16	18 %	6,8	(4,8 – 8,0)
Total	337	44	13 %	6,3	(2,5 – 8,0)

fourche à 8,0 m de hauteur ou moins était plus faible dans les parcelles à structure de Petit bois (6 %) que dans celles à structure de Moyen et de Gros bois (respectivement 17 % et 18 %, tableau 2b).

## 2.2 Après la coupe

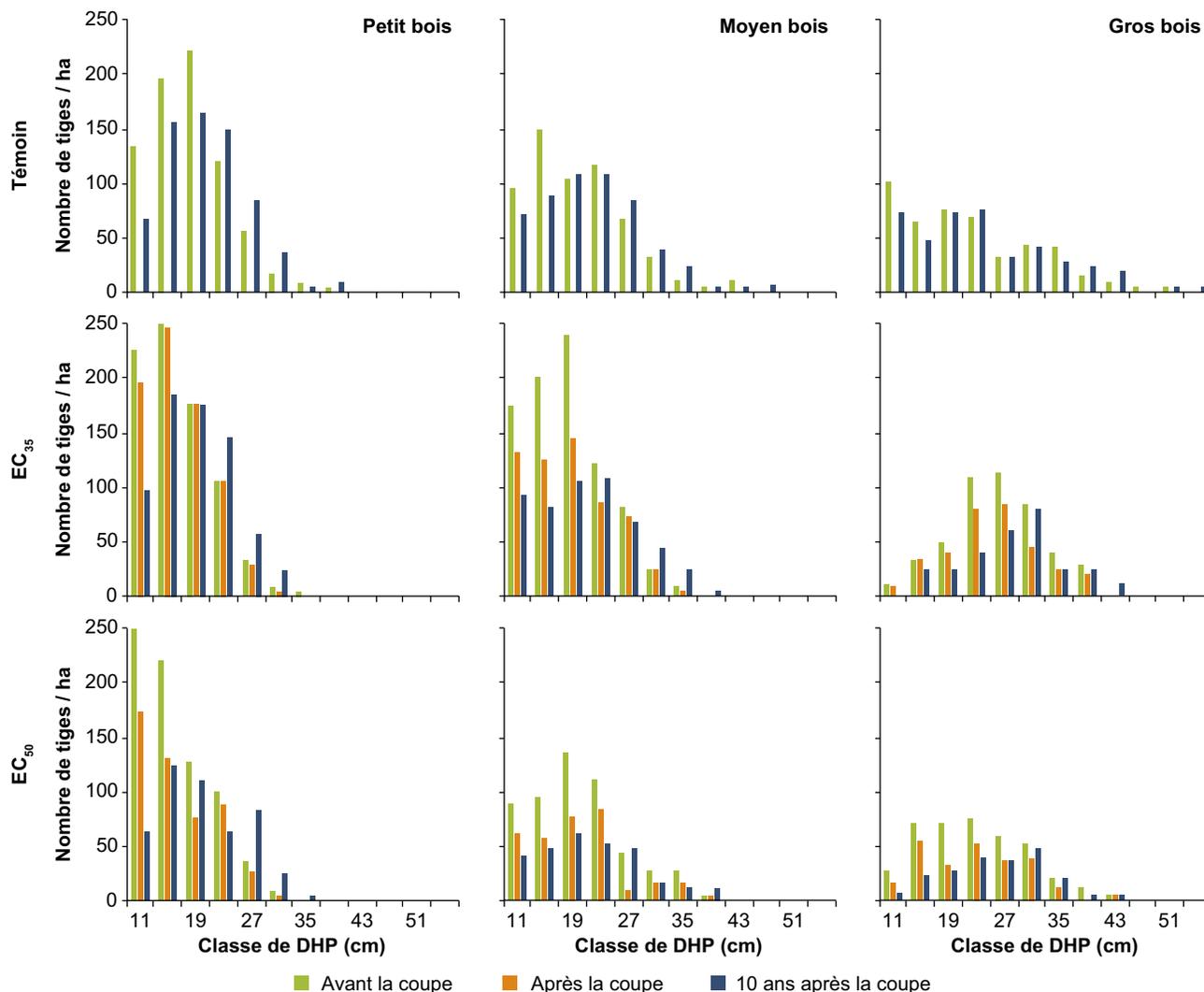
Pour chacune des deux intensités d'éclaircie commerciale effectuées dans cette étude, des arbres ont été prélevés dans toutes les classes de DHP (figure 8). Tous les peupliers faux-trembles de DHP  $\geq 9,1$  cm ont été prélevés dans les parcelles éclaircies. Aucun bouleau à papier de DHP  $\geq 28$  cm qui ne présentait pas de défauts majeurs de qualité n'a été prélevé dans les parcelles éclaircies.

### 2.2.1 Éclaircie de moyenne intensité

Pour l'ensemble des espèces, l'éclaircie de moyenne intensité (EC<sub>35</sub>) a réduit de 23 % le nombre de tiges, qui est passé d'en moyenne

784 tiges/ha avant la coupe à 605 tiges/ha après la coupe (tableau 3). Le prélèvement des grosses tiges a été proportionnellement plus important que celui des petites, ce qui s'est répercuté sur le DHPq, qui est passé de 21,5 à 20,4 cm. La surface terrière est passée, en moyenne, de 27,0 m<sup>2</sup>/ha avant coupe à 18,4 m<sup>2</sup>/ha après coupe, ce qui correspond à un prélèvement moyen de 32 %. Pour le VMB, le prélèvement a été de 35 % (78 m<sup>3</sup>/ha).

Après la coupe de moyenne intensité (EC<sub>35</sub>), il restait en moyenne 557 bouleaux à papier/ha, pour un prélèvement moyen de 21 % (tableau 3). Le prélèvement en bouleau à papier s'est fait de manière équilibrée entre les classes de DHP, de sorte que le DHPq est resté pratiquement inchangé après la coupe (21 cm). L'éclaircie a prélevé 24 % de la surface terrière en bouleau à papier (5,5 m<sup>2</sup>/ha), de sorte que la proportion de la surface terrière totale en bouleaux à papier a augmenté de 10 % (85 à



**Figure 8.** Distribution diamétrale du bouleau à papier avant la coupe, immédiatement après la coupe et 10 ans après la coupe, dans chacune des parcelles, selon les traitements. EC<sub>35</sub> : éclaircie de moyenne intensité; EC<sub>50</sub> : éclaircie de forte intensité.

95 %) après la coupe. Pour le VMB, le prélèvement a été de 46 m<sup>3</sup>/ha (25 %) et a représenté 59 % du prélèvement total.

### 2.2.2 Éclaircie de forte intensité

Pour l'ensemble des espèces, l'éclaircie de forte intensité (EC<sub>50</sub>) a réduit de 39 % le nombre de tiges, qui est passé d'en moyenne 775 tiges/ha avant la coupe à 473 tiges/ha après la coupe (tableau 3). Le prélèvement de grosses tiges a été proportionnellement plus important que celui des petites, ce qui s'est répercuté sur le DHPq, qui est passé de 21,1 à 19,3 cm. La surface terrière est passée, en moyenne, de 26,9 m<sup>2</sup>/ha avant coupe à 13,8 m<sup>2</sup>/ha après la coupe, ce qui correspond à un prélèvement moyen de 49 %. Pour le VMB, le prélèvement a été de 52 % (115 m<sup>3</sup>/ha).

Après la coupe de forte intensité (EC<sub>50</sub>), il restait en moyenne 357 bouleaux à papier/ha, pour un

prélèvement moyen de 36 % (tableau 3). Le prélèvement s'est fait de manière équilibrée entre les classes de DHP, de sorte que le DHPq est resté pratiquement inchangé après la coupe. L'éclaircie a prélevé 37 % de la surface terrière en bouleaux à papier (6,7 m<sup>2</sup>/ha), de sorte que la proportion de la surface terrière totale en bouleaux à papier a augmenté de 15 % (67 à 82 %) après la coupe. Pour le VMB, le prélèvement a été de 54 m<sup>3</sup>/ha (38 %) et a représenté 47 % du prélèvement total.

### 2.2.3 Répartition par classe de qualité

Au moins 95 % des bouleaux à papier ayant le DHP minimal requis pour le sciage (DHP ≥ 23,1 cm) étaient de qualité C ou D, pour le Témoin comme pour les traitements d'éclaircie (tableau 4). Étant donné que le prélèvement lors des éclaircies a été fait uniquement parmi les bouleaux à papier de qualité C ou D, les éclaircies se sont différenciées du Témoin principalement par la hausse de la

**Tableau 3.** Nombre de tiges à l'hectare, diamètre moyen quadratique (DHPq), surface terrière et volume marchand brut (VMB) avant la coupe, immédiatement après la coupe et 10 ans après la coupe, selon le traitement, pour l'ensemble des espèces et le bouleau à papier.

Espèce	Variable	Traitement*	Avant la coupe		Après la coupe		10 ans		Coupé		10 ans – (après la coupe)		Recrues	Morts
									Différence	Proportion				
Toutes les espèces	Nombre de tiges/ha	Témoins	668	–	609	–	–	–	–	–	–	–59	23	81
		EC <sub>35</sub>	784	605	596	605	179	23 %	–	–	–	–9	69	79
		EC <sub>50</sub>	775	473	487	473	301	39 %	–	–	–	13	77	64
	DHPq (cm)	Témoins	22,3	–	23,9	–	–	–	–	–	–	1,6	–	–
		EC <sub>35</sub>	21,5	20,4	22,2	20,4	-1,1	–	–	–	–	1,8	–	–
		EC <sub>50</sub>	21,1	19,3	20,9	19,3	-1,8	–	–	–	–	1,6	–	–
Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)	Témoins	25,5	–	26,7	–	–	–	–	–	–	1,2	–	–	
	EC <sub>35</sub>	27,0	18,4	21,3	18,4	8,6	32 %	–	–	–	2,9	–	–	
	EC <sub>50</sub>	26,9	13,8	16,5	13,8	13,1	49 %	–	–	–	2,7	–	–	
VMB (m <sup>3</sup> /ha)	Témoins	216	–	232	–	–	–	–	–	–	16	–	–	
	EC <sub>35</sub>	222	144	174	144	78	35 %	–	–	–	30	–	–	
	EC <sub>50</sub>	219	105	131	105	115	52 %	–	–	–	26	–	–	
Bouleau à papier	Nombre de tiges/ha	Témoins	600	–	543	–	–	–	–	–	–	-57	11	68
		EC <sub>35</sub>	703	557	497	557	145	21 %	–	–	–	-60	15	75
		EC <sub>50</sub>	561	357	325	357	204	36 %	–	–	–	-32	13	45
	DHPq (cm)	Témoins	21,5	–	23,2	–	–	–	–	–	–	1,8	–	–
		EC <sub>35</sub>	21,0	20,9	23,4	20,9	-0,1	–	–	–	–	2,5	–	–
		EC <sub>50</sub>	20,7	20,6	23,2	20,6	-0,1	–	–	–	–	2,6	–	–
Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)	Témoins	21,1	–	22,4	–	–	–	–	–	–	1,3	–	–	
	EC <sub>35</sub>	23,0	17,5	19,6	17,5	5,5	24 %	–	–	–	2,1	–	–	
	EC <sub>50</sub>	17,9	11,3	13,0	11,3	6,7	37 %	–	–	–	1,7	–	–	
VMB (m <sup>3</sup> /ha)	Témoins	173	–	191	–	–	–	–	–	–	17	–	–	
	EC <sub>35</sub>	185	140	165	140	46	25 %	–	–	–	25	–	–	
	EC <sub>50</sub>	144	90	110	90	54	38 %	–	–	–	20	–	–	
Proportion du bouleau à papier par rapport à toutes les espèces	Nombre de tiges/ha	Témoins	90 %	–	89 %	–	–	–	–	–	–	–	47 %	84 %
		EC <sub>35</sub>	90 %	92 %	83 %	92 %	–	81 %	–	–	–	–	21 %	95 %
		EC <sub>50</sub>	72 %	75 %	67 %	75 %	–	68 %	–	–	–	–	17 %	71 %
	Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)	Témoins	83 %	–	84 %	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		EC <sub>35</sub>	85 %	95 %	92 %	95 %	–	63 %	–	–	–	–	–	–
		EC <sub>50</sub>	67 %	82 %	79 %	82 %	–	51 %	–	–	–	–	–	–
VMB (m <sup>3</sup> /ha)	Témoins	80 %	–	82 %	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
	EC <sub>35</sub>	83 %	97 %	95 %	97 %	–	59 %	–	–	–	–	–	–	
	EC <sub>50</sub>	66 %	86 %	84 %	86 %	–	47 %	–	–	–	–	–	–	

\* EC<sub>35</sub> : éclaircie de moyenne intensité; EC<sub>50</sub> : éclaircie de forte intensité.

proportion en surface terrière des bouleaux à papier de qualité B et une baisse dans celle des bouleaux à papier de qualité D. En effet, dans les parcelles éclaircies, les bouleaux à papier de qualité D ayant les dimensions pour appartenir à la classe de qualité A ou B (DHP  $\geq$  33,1 cm) ont tous été prélevés. De plus, les parcelles éclaircies contenaient 2,5 fois plus de bouleaux à papier ayant les dimensions pour appartenir à la classe de qualité B (DHP de 33,1 à 39,0 cm : 28 % pour EC<sub>35</sub>+EC<sub>50</sub> et 11 % pour le Témoin), et 2,4 fois moins de bouleaux ayant les dimensions pour appartenir à la classe de qualité C (DHP de 23,1 à 33,0 cm : 9 % pour EC<sub>35</sub>+EC<sub>50</sub> et 22 % pour le Témoin).

Aucun bouleau à papier de qualité A ou B n'a été prélevé lors de la coupe, bien que les parcelles témoins aient contenu un plus grand nombre de bouleaux à papier de DHP  $\geq$  33,1 cm de qualité B ou C que les parcelles éclaircies. Cela découle du fait qu'elles en contenaient plus avant la coupe, en particulier pour ceux de DHP  $\geq$  39,1 cm (tableau 4).

## 2.3 Dix ans après la coupe

### 2.3.1. Nombre, surface terrière et volume

Dix ans après la coupe, le nombre de tiges par hectare a chuté d'en moyenne 9 % pour le Témoin, mais a peu varié pour les traitements d'éclaircie (tableau 3). Cette différence est en grande partie attribuable au recrutement, qui a été de 3 à 3,5 fois plus important pour les traitements d'éclaircie que pour le Témoin, ce qui a compensé la perte par mortalité. Cet important recrutement a été en grande partie attribuable à l'érable rouge et, dans une moindre mesure, au bouleau à papier. Ce dernier représentait en moyenne de 17 à 21 % du nombre de recrues dans les parcelles éclaircies. Quant au nombre de bouleaux à papier, il a diminué de 9 à 11 % pour tous les traitements.

En 10 ans, la surface terrière pour l'ensemble des espèces a augmenté davantage pour les traitements d'éclaircie (2,9 m<sup>2</sup>/ha pour l'EC<sub>35</sub> et 2,7 m<sup>2</sup>/ha pour l'EC<sub>50</sub>, soit de 16 à 20 %) que pour le Témoin (1,2 m<sup>2</sup>/ha, ou 5 %; tableau 3). Les écarts vont dans le même sens pour le bouleau à papier, mais ils sont moindres. Le VMB a suivi les mêmes tendances que la surface terrière.

Le DHPq, toutes espèces confondues, a augmenté en moyenne de 1,6 à 1,8 cm au cours des 10 ans suivant la coupe, selon les traitements (tableau 3), alors que pour le bouleau à papier, cette augmentation a été de 1,8 cm pour le Témoin et de 2,5 et 2,6 cm pour les traitements d'éclaircie.

### 2.3.2 Distribution diamétrale

Dix ans après la coupe, le nombre de bouleaux à papier a diminué dans les classes de petits DHP, peu importe le traitement, et il a légèrement augmenté dans les classes de gros DHP (figure 8). En conséquence, la forme de la distribution diamétrale s'est davantage rapprochée de celle d'une cloche, avec un sommet qui s'est déplacé vers les plus gros diamètres.

### 2.3.3 Gaules

#### 2.3.3.1 Espèces arborescentes

Pour le Témoin, le nombre moyen de gaules d'espèces arborescentes (tiges de DHP de 1,1 à 9,0 cm), surtout représentées par l'érable rouge et le bouleau à papier, a légèrement diminué sur une période de 10 ans, passant en moyenne de 141 à 119 gaules/ha (tableau 5). Cette diminution est essentiellement attribuable au bouleau à papier. Pour les traitements d'éclaircie, le nombre de gaules a grandement augmenté 10 ans après la coupe, et beaucoup plus pour l'EC<sub>50</sub> (2611 gaules/ha) que pour l'EC<sub>35</sub> (600 gaules/ha).

Dix ans après la coupe, la classe de DHP la plus représentée chez la plupart des espèces était celle de 2 cm (figure 9). L'érable rouge était l'espèce arborescente dominante dans chacune des parcelles, à l'exception d'une, dans laquelle le peuplier faux-tremble dominait grâce à la forte représentativité de cette espèce parmi les tiges de DHP  $\geq$  9,1 cm. L'érable rouge, même s'il s'est installé en grand nombre et qu'il a crû rapidement, a été systématiquement brouté par l'original, lequel a même cassé bon nombre de tiges jusqu'à 2 m de hauteur. Il a aussi créé de longues blessures verticales sur les arbres en frottant le fût avec ses bois.

L'érable à sucre et le peuplier faux-tremble, presque absents avant la coupe, ont augmenté en nombre à la suite de la coupe, en particulier dans les parcelles de l'EC<sub>50</sub>. L'érable à sucre présentait typiquement une distribution diamétrale dans laquelle le nombre de tiges diminuait avec l'augmentation du DHP (figure 9).

#### 2.3.3.2 Espèces arbustives

Pour les parcelles témoins, le nombre moyen de gaules d'espèces arbustives a légèrement diminué (-10 %) en 10 ans, pour atteindre en moyenne 4111 gaules/ha (tableau 5). Dans les parcelles éclaircies, les gaules d'espèces arbustives ont plus que doublé au cours des 10 ans suivant la coupe, pour atteindre un nombre moyen de 5 733 gaules/ha pour l'EC<sub>35</sub> et de 7 000 gaules pour l'EC<sub>50</sub>. Dans les parcelles témoins et éclaircies, l'érable à épis (*Acer*

**Tableau 4.** Nombre de tiges et surface terrière avant la coupe et après la coupe, et répartition du bouleau à papier par classe de qualité de sciage, en fonction des traitements et de la classe de DHP.

Variable	Traitement(s)*	Classe de DHP (cm)†	Nombre total de bouleaux à papier/ha		Répartition après la coupe par classe de qualité								
			Avant la coupe	Après la coupe	Nombre de bouleaux à papier/ha				Proportion du nombre de bouleaux à papier/ha				
					A	B	C	D	A	B	C	D	
Nombre de tiges/ha		≥ 39,1	–	13,3	0	5,3	2,7	5,3	2,7	0 %	40 %	40 %	20 %
		33,1 à 39,0	–	24,0	–	2,7	16,0	5,3	–	11 %	67 %	67 %	22 %
	Témoins	23,1 à 33,0	–	126,7	–	–	98,7	28,0	–	–	78 %	78 %	22 %
Nombre de tiges/ha		≥ 23,1	–	164,0	0	8,0	120,0	36,0	0	0 %	5 %	73 %	22 %
		≥ 39,1	3,3	2,0	0,7	0	1,3	0	33 %	0 %	67 %	67 %	0 %
	EC <sub>35</sub> +EC <sub>50</sub>	33,1 à 39,0	21,3	12,0	–	3,3	8,7	0	–	28 %	72 %	72 %	0 %
Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)		23,1 à 33,0	146,7	103,3	–	–	94,0	9,3	–	–	–	91 %	9 %
		≥ 23,1	171,3	117,3	0,7	3,3	104,0	9,3	1 %	3 %	89 %	89 %	8 %
	Témoins	≥ 23,1	–	11,5	0	1,0	7,8	2,6	0 %	9 %	68 %	68 %	23 %
	EC <sub>35</sub> +EC <sub>50</sub>	≥ 23,1	10,8	7,2	0,1	0,3	6,3	0,5	1 %	4 %	87 %	87 %	7 %

\* EC<sub>35</sub> : éclaircie de moyenne intensité; EC<sub>50</sub> : éclaircie de forte intensité.

† Les classes de DHP correspondent aux dimensions minimales requises pour les classes de qualité A (DHP ≥ 39,1 cm), B (DHP de 33,1 à 39,0 cm) et C (DHP de 23,1 à 33,0 cm).

**Tableau 5.** Nombre moyen de gaules (tiges de DHP de 1,1 à 9,0 cm) à l'hectare avant la coupe et 10 ans après la coupe pour les principales espèces arborescentes et arbustives en fonction des traitements.

Espèces arborescentes				Espèces arbustives			
Espèce	Traitement*	Avant la coupe	10 ans	Espèce	Traitement	Avant la coupe	10 ans
Bouleau à papier	Témoin	44	26	Érable à épis	Témoin	2 615	2 222
	EC <sub>35</sub>	44	19		EC <sub>35</sub>	2 304	4 563
	EC <sub>50</sub>	67	93		EC <sub>50</sub>	1 978	4 526
Érable rouge	Témoin	89	89	Noisetier	Témoin	1 941	1 822
	EC <sub>35</sub>	270	481		EC <sub>35</sub>	200	948
	EC <sub>50</sub>	381	1 311		EC <sub>50</sub>	948	2 074
Érable à sucre	Témoin	0	4	Total	Témoin	4 593	4 111
	EC <sub>35</sub>	0	59		EC <sub>35</sub>	2 504	5 733
	EC <sub>50</sub>	26	219		EC <sub>50</sub>	2 956	7 000
Peuplier faux-tremble	Témoin	4	0				
	EC <sub>35</sub>	0	41				
	EC <sub>50</sub>	0	948				
Total	Témoin	141	119				
	EC <sub>35</sub>	319	600				
	EC <sub>50</sub>	478	2 611				

\* EC<sub>35</sub> : éclaircie de moyenne intensité; EC<sub>50</sub> : éclaircie de forte intensité.

*spicatum* Lam.) était l'espèce la plus nombreuse avant la coupe, et elle l'est toujours 10 ans après la coupe, avec plus de 2 200 gaules/ha pour le Témoin et plus de 4 500 gaules/ha pour les traitements d'éclaircie (ce qui représente 65 à 78 % des gaules arbustives). Le noisetier (*Corylus cornuta* Marshall) a été la deuxième espèce arbustive en importance, avec en moyenne près de 950 gaules/ha pour l'EC<sub>35</sub> et 2 074 gaules/ha pour l'EC<sub>50</sub>, 10 ans après la coupe.

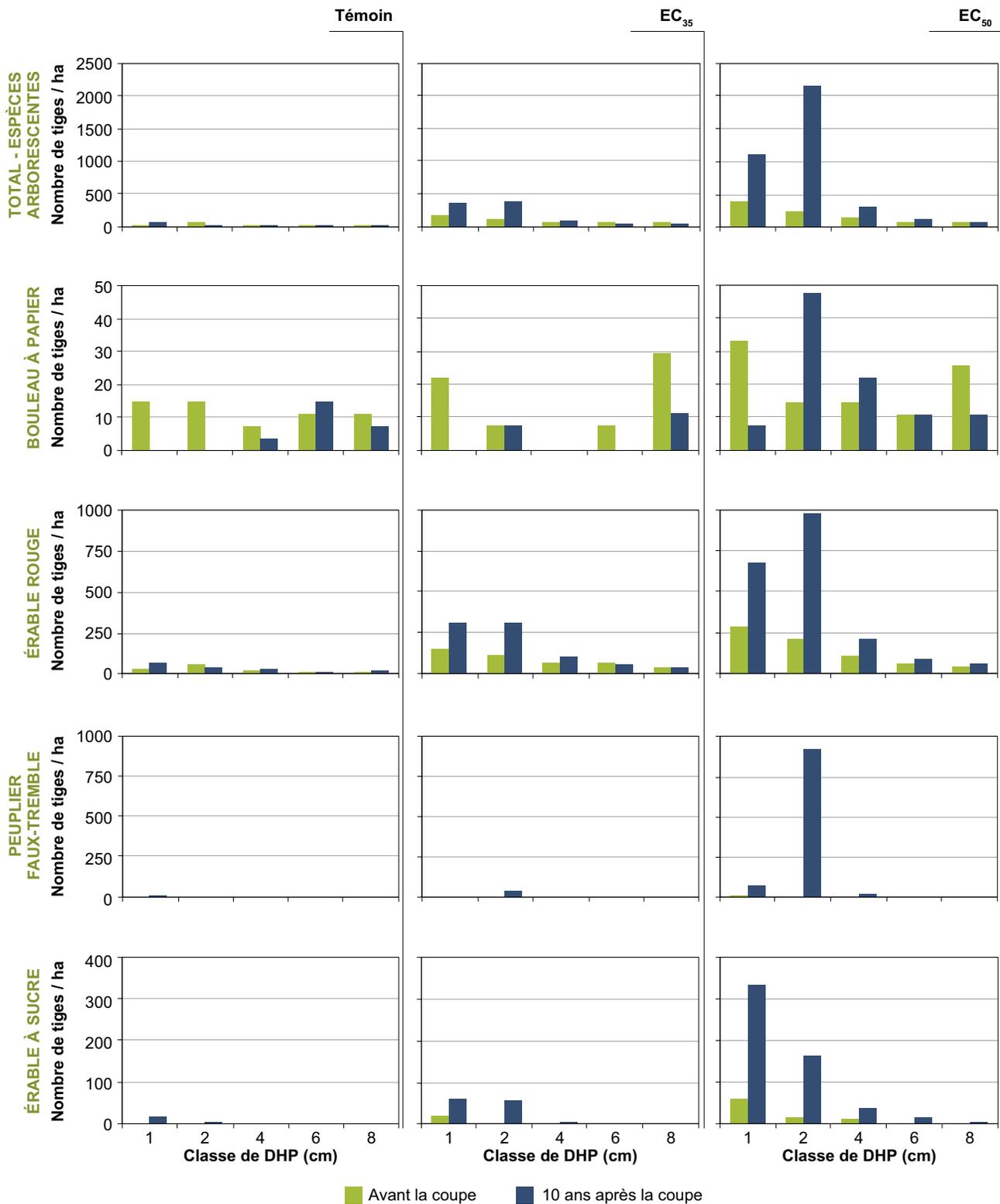
La classe de DHP de 1 cm, qui ne fait pas partie des gaules, était à elle seule plus abondante que l'ensemble des gaules, toutes espèces arbustives confondues (figure 10). Pour le Témoin, le nombre de tiges dans cette classe de DHP a diminué en 10 ans, tant pour le noisetier (-26 %) que pour l'érable à épis (-49 %). Pour les traitements d'éclaircie, ce nombre a augmenté en 10 ans, et cette hausse a été plus forte pour l'EC<sub>35</sub> (96 %) que pour l'EC<sub>50</sub> (52 %).

### 2.3.4 Croissance en diamètre

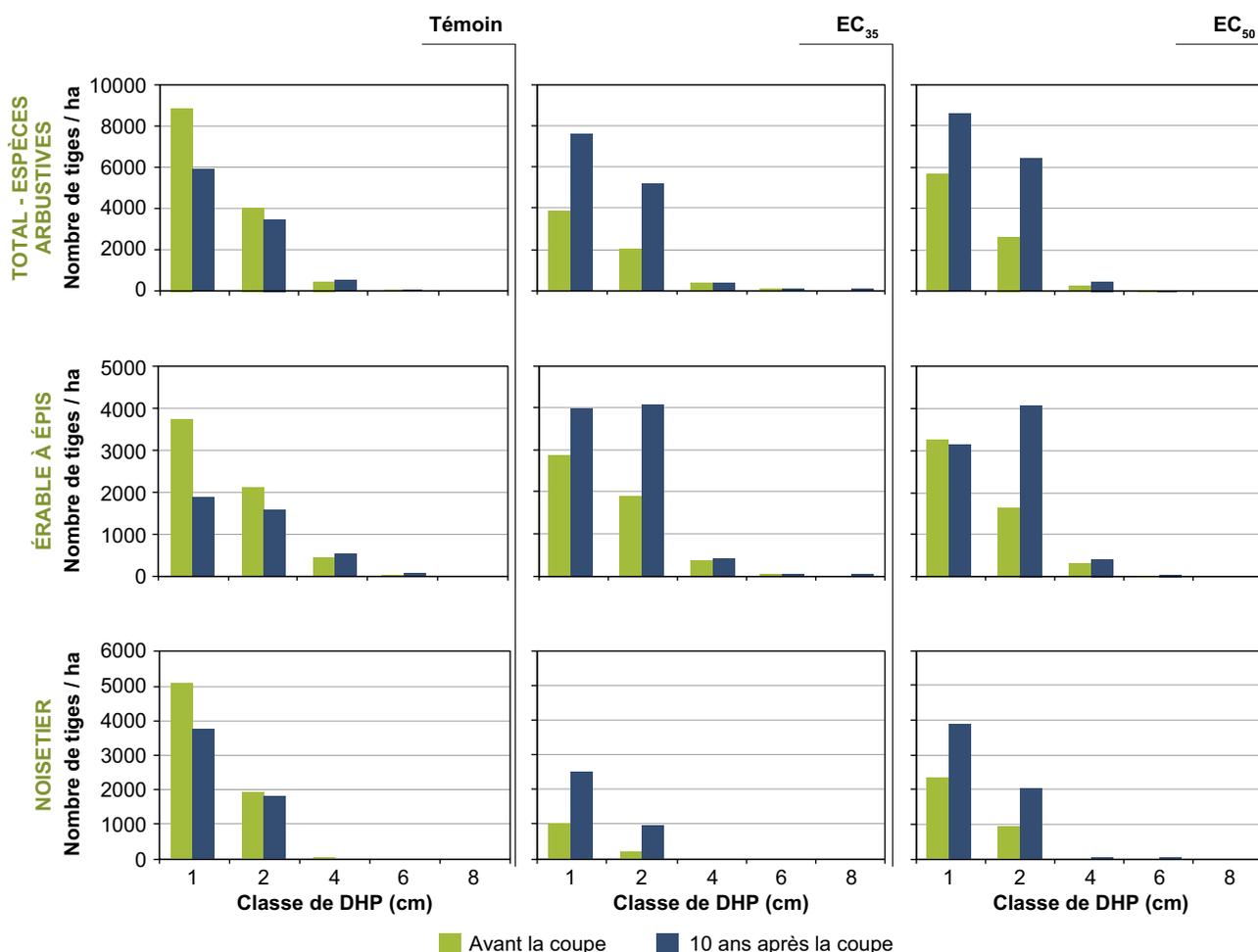
Les grandes variations de l'accroissement en diamètre observées entre les parcelles d'un même traitement laissent supposer une influence de la structure diamétrale. Cette influence sera soulignée même si elle n'est pas appuyée par des tests statistiques, puisqu'il n'y avait qu'une unité expérimentale

(parcelle) pour chaque combinaison de traitement et de structure diamétrale. Pour un même traitement, le nombre total de bouleaux à papier diminuait de la structure de Petit bois à celle de Gros bois (diminution des arbres de petits diamètres et augmentation de ceux de gros diamètres; figure 11), alors que le DHPq et la proportion de bouleaux à papier de DHP  $\geq 23,1$  cm augmentaient (tableau 6). La structure de Petit bois était associée à une forte présence de gros peupliers faux-trembles avant la coupe, en particulier dans les traitements EC<sub>35</sub> et EC<sub>50</sub>.

Dix ans après la coupe, l'accroissement en diamètre des bouleaux à papier variait beaucoup (de quelques centimètres à plus de 5 cm) pour un même DHP, et ce, peu importe le traitement ou la structure diamétrale (figure 12). Néanmoins, il a augmenté très significativement avec la grosseur des bouleaux à papier dans 6 des 9 parcelles ( $p < 0,001$ ), et a montré une forte tendance dans 2 autres parcelles ( $p = 0,053$  et  $p = 0,060$ ; annexe 1 : tableau A1, figure 12). Ce n'est que dans la parcelle de l'EC<sub>50</sub> avec une structure de Gros bois que les bouleaux à papier n'ont montré aucune tendance ( $p = 0,52$ ). Ces 3 dernières parcelles contenaient les plus faibles nombres de bouleaux à papier après la coupe (de 248 à 332 bouleaux à papier/ha, tableau 6).



**Figure 9.** Nombre à l'hectare de tiges de DHP < 9,1 cm avant la coupe et 10 ans après la coupe, pour les principales espèces arborescentes, en fonction de la classe de DHP et du traitement. La classe de DHP de 1 cm comprend les tiges de 0,1 à 1,0 cm. EC<sub>35</sub> : éclaircie de moyenne intensité; EC<sub>50</sub> : éclaircie de forte intensité.



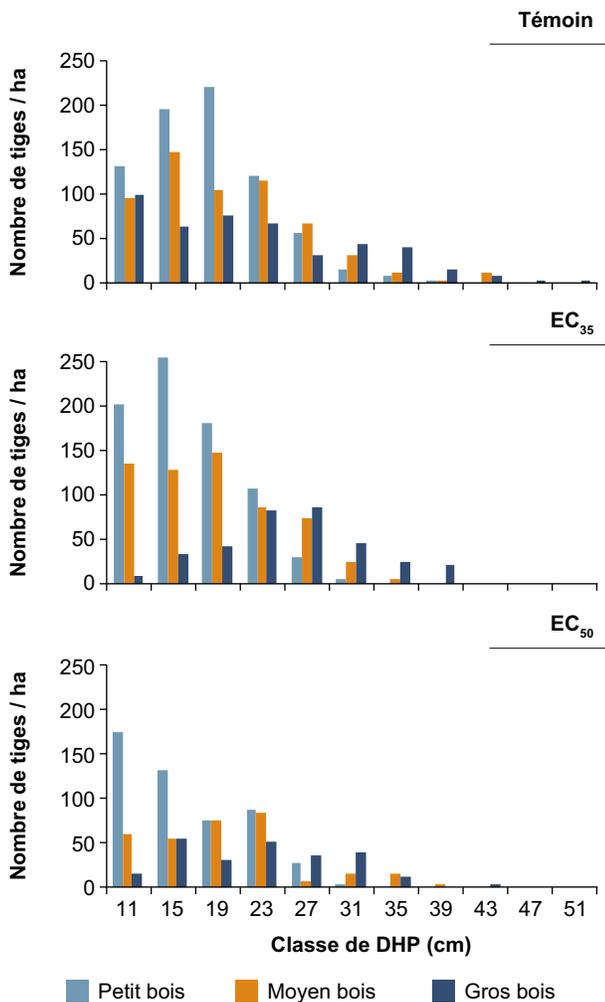
**Figure 10.** Nombre à l’hectare de tiges de DHP < 9,1 cm avant la coupe et 10 ans après la coupe, pour les principales espèces arbustives, en fonction de la classe de DHP et du traitement. La classe de DHP de 1 cm comprend les tiges de 0,1 à 1,0 cm. EC<sub>35</sub> : éclaircie de moyenne intensité; EC<sub>50</sub> : éclaircie de forte intensité.

**Tableau 6.** Caractéristiques de chacune des 9 parcelles selon le traitement et la structure diamétrale : nombre de tiges, diamètre moyen quadratique (DHPq), et pourcentage de la surface terrière des bouleaux à papier de DHP ≥ 23,1 cm après la coupe, et surface terrière avant la coupe des peupliers faux-trembles.

Traitement*	Structure diamétrale	Bouleau à papier Après la coupe			Peuplier faux-tremble Avant la coupe
		Nombre de tiges/ha	DHPq (cm)	Pourcentage de la surface terrière des tiges de DHP ≥ 23,1 cm†	Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)
Témoïn	Petit bois	752	19,2	38 %	4,4
	Moyen bois	592	21,2	55 %	1,1
	Gros bois	456	24,0	71 %	4,0
EC <sub>35</sub>	Petit bois	756	17,1	22 %	7,2
	Moyen bois	584	19,3	46 %	1,2
	Gros bois	332	26,2	80 %	0
EC <sub>50</sub>	Petit bois	504	17,3	32 %	8,6
	Moyen bois	320	20,9	53 %	1,8
	Gros bois	248	23,7	71 %	2,3

\* EC<sub>35</sub> : éclaircie de moyenne intensité; EC<sub>50</sub> : éclaircie de forte intensité.

† Surface terrière des tiges de DHP ≥ 23,1 cm divisée par la surface terrière des tiges de DHP ≥ 9,1 cm.



**Figure 11.** Distribution diamétrale du bouleau à papier immédiatement après la coupe pour chacune des structures diamétrales (Petit, Moyen et Gros bois) et pour chacun des traitements. EC<sub>35</sub> : éclaircie de moyenne intensité; EC<sub>50</sub> : éclaircie de forte intensité.

Dans les parcelles avec une structure de Gros bois, les droites de régression unissant l'accroissement décennal en diamètre au DHP après la coupe étaient moins inclinées que dans celles avec des structures de Petit ou de Moyen bois, et ce, pour chacun des traitements (figure 13a). Cela indique que les différences de croissance étaient moins grandes entre les bouleaux de petites et de grosses dimensions avec une structure de Gros bois. De plus, ces droites de régression étaient semblables dans les parcelles avec des structures de Petit et Moyen bois des traitements Témoins et EC<sub>35</sub> (figure 13a); cela indique que les bouleaux à papier dans ces parcelles ont eu des croissances similaires (figure 12). Dans les parcelles à structure de Petit bois, les droites de régression des 3 traitements étaient parallèles, mais décalées les unes par rapport aux autres (figure 13b). Cela montre

que le taux d'augmentation de l'accroissement en diamètre des bouleaux à papier en fonction de leur grosseur était semblable, mais que l'accroissement a été plus grand dans les parcelles éclaircies, atteignant un maximum avec l'EC<sub>50</sub>.

L'accroissement en diamètre des bouleaux à papier de petites et de grosses dimensions, représentés ici respectivement par les bouleaux de DHP de 15 et de 30 cm, a été analysé en utilisant les valeurs prédites par les droites de régression. Chez les bouleaux de DHP de 15 cm, l'accroissement en diamètre a augmenté du Témoins jusqu'à l'éclaircie la plus forte (EC<sub>50</sub>), et ce, pour chacune des structures diamétrales prises individuellement (figure 14a). Une différence significative ( $p = 0,01$ ) n'a cependant été décelée qu'entre le Témoins et l'EC<sub>50</sub> (annexe 2 : tableau A3). Selon la structure diamétrale, l'accroissement décennal en diamètre de ces bouleaux à papier a varié en moyenne de 1,0 à 1,3 cm pour le Témoins, de 1,6 à 1,8 cm pour l'EC<sub>35</sub> et de 2,0 à 2,5 cm pour l'EC<sub>50</sub> (figure 14a).

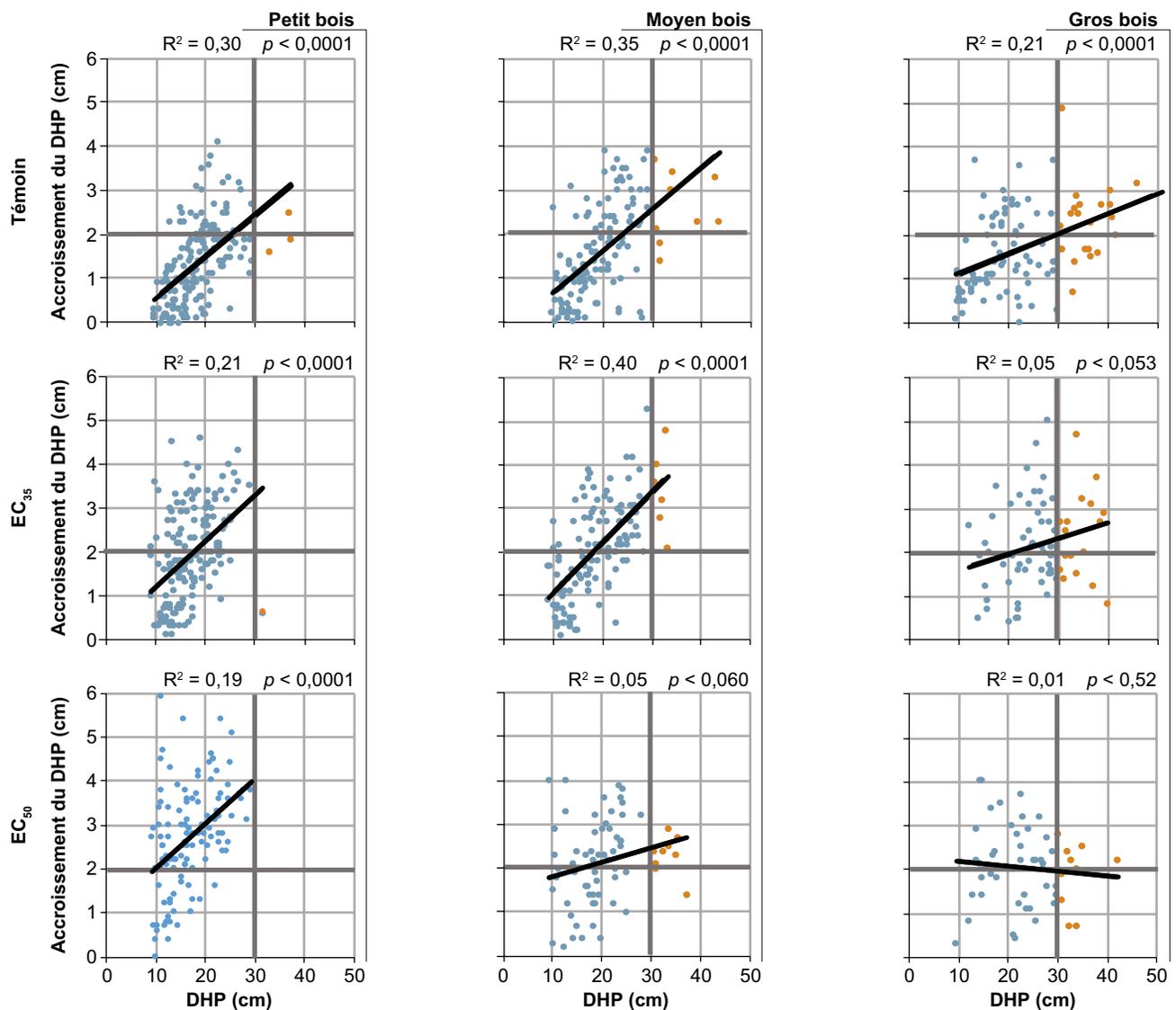
Chez les bouleaux à papier de gros diamètres (DHP de 30 cm), l'accroissement décennal en diamètre n'a pas varié significativement entre les traitements (annexe 2 : tableau A3). Par contre, des différences ont été observées (mais non testées statistiquement) selon la structure diamétrale. Ainsi, dans les parcelles à structure de Petit bois, un gradient était présent entre les traitements : l'accroissement a progressé de 2,4 cm pour le Témoins à 3,3 cm pour l'EC<sub>35</sub> et à 4,1 cm pour l'EC<sub>50</sub> (figure 14b). Dans les parcelles à structure de Moyen bois, seule la parcelle EC<sub>35</sub> a présenté un accroissement plus grand (3,3 cm) que les autres (Témoins : 2,6 cm; EC<sub>50</sub> : 2,5 cm). Dans les parcelles à structure de Gros bois, l'accroissement n'a pas varié selon les traitements (de 2,0 à 2,3 cm).

### 2.3.5 Production

#### 2.3.5.1 Arbres de DHP $\geq 9,1$ cm

##### 2.3.5.1.1 Toutes les espèces

Dix ans après la coupe, la production nette pour l'ensemble des espèces a été plus de 2 fois plus grande pour les traitements d'éclaircie (moyenne de 2,9 m<sup>2</sup>/ha pour l'EC<sub>35</sub> et de 2,7 m<sup>2</sup>/ha pour l'EC<sub>50</sub>) que pour le Témoins (1,2 m<sup>2</sup>/ha; tableau 7). Cette différence découle d'un recrutement plus important (0,7 et 0,8 m<sup>2</sup>/ha contre 0,2 m<sup>2</sup>/ha pour le Témoins) et d'une mortalité moindre, quoiqu'importante, dans les parcelles éclaircies (1,3 et 1,6 m<sup>2</sup>/ha contre 2,8 m<sup>2</sup>/ha). Cette mortalité plus forte observée chez le Témoins est due à la plus grande surface terrière en début de période, puisque le taux de mortalité a été à peine plus élevé que celui de l'EC<sub>35</sub> et l'EC<sub>50</sub> (11 % contre 8 et 9 %). En proportion de la surface



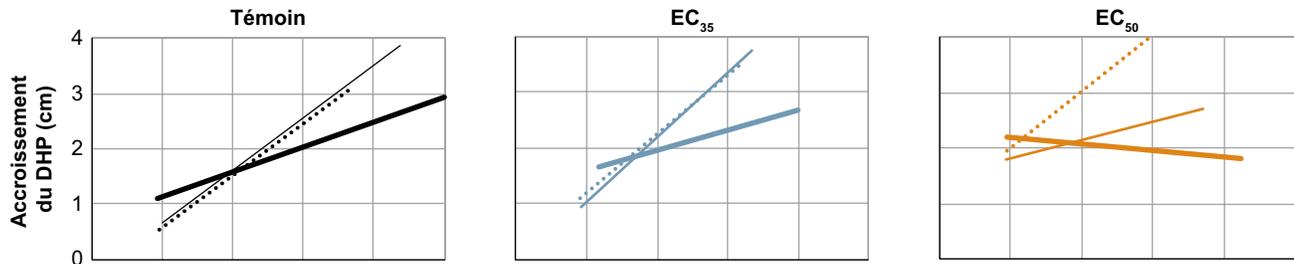
**Figure 12.** Accroissement décennal du DHP des bouleaux à papier en fonction de leur DHP après la coupe, pour chacune des structures diamétrales d'un traitement (Petit, Moyen et Gros bois). Le coefficient de détermination ( $R^2$ ) ainsi que la probabilité ( $p$ ) des droites de régression sont affichés. Des lignes de référence (lignes plus épaisses) ont été placées pour aider à visualiser les différences entre les parcelles; de même, les points orangés indiquent les valeurs de DHP > 30 cm. EC<sub>35</sub> : éclaircie de moyenne intensité; EC<sub>50</sub> : éclaircie de forte intensité.

terrière après la coupe, le taux de production nette a été de 3 à 4 fois plus grand pour l'EC<sub>35</sub> et l'EC<sub>50</sub> que pour le Témoïn (16 et 20 % contre 5 %). Le recrutement a contribué au quart (23 et 28 %) de la production nette pour les traitements d'éclaircie contre 16 % pour le Témoïn (tableau 7).

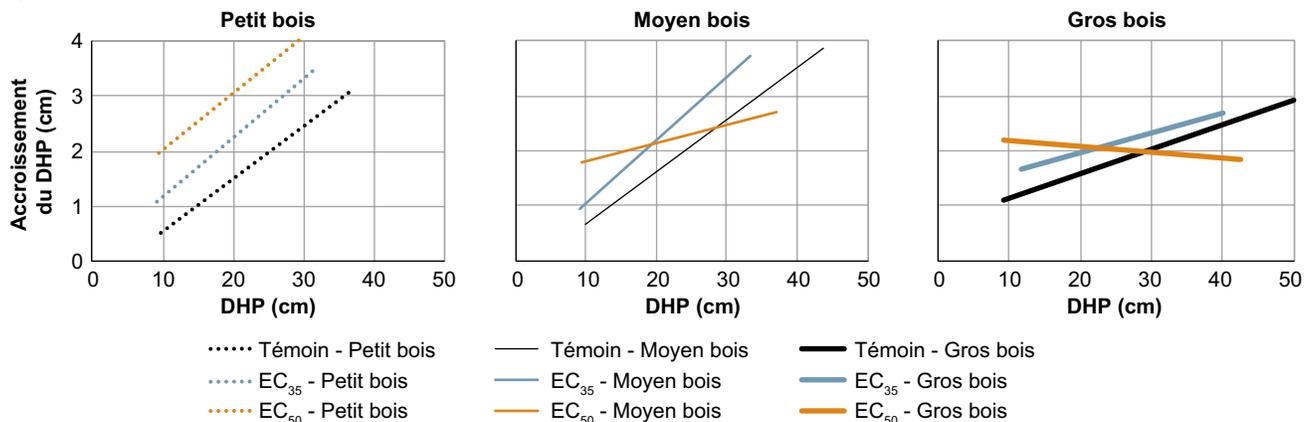
La surface terrière cumulée en 10 ans (arbres coupés et sur pied à 10 ans) a aussi été plus grande pour les traitements d'éclaircie (moyenne de 29,9 m<sup>2</sup>/ha pour l'EC<sub>35</sub> et de 29,7 m<sup>2</sup>/ha pour l'EC<sub>50</sub>) que pour le Témoïn (26,7 m<sup>2</sup>/ha; tableau 7; figure 15a).

Les grandes variations observées dans la production des parcelles d'un même traitement laissent supposer une influence de la structure diamétrale. Pour un traitement donné, la plus grande production nette (absolue et relative) a été obtenue dans la parcelle avec une structure diamétrale de Petit bois, avec des valeurs environ du double de celles dans les parcelles avec une structure de Gros bois (parcelles éclaircies : 4,2 et 4,3 m<sup>2</sup>/ha contre 1,9 et 2,0 m<sup>2</sup>/ha; Témoïn : 1,6 contre 0,8 m<sup>2</sup>/ha; tableau 7). Toutefois, dans les parcelles éclaircies à structure de Petit bois, la production nette est probablement exagérée, en raison d'un recrutement anormalement

a) Selon le traitement

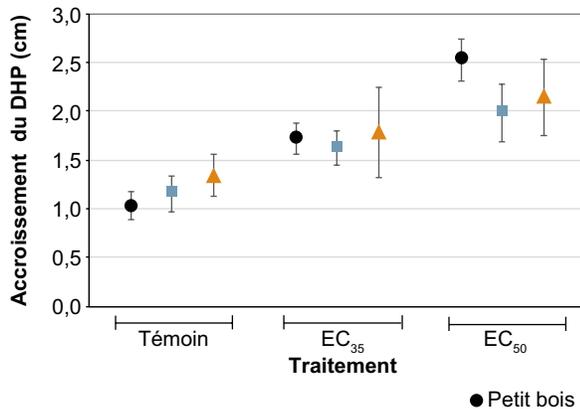


b) Selon la structure diamétrale

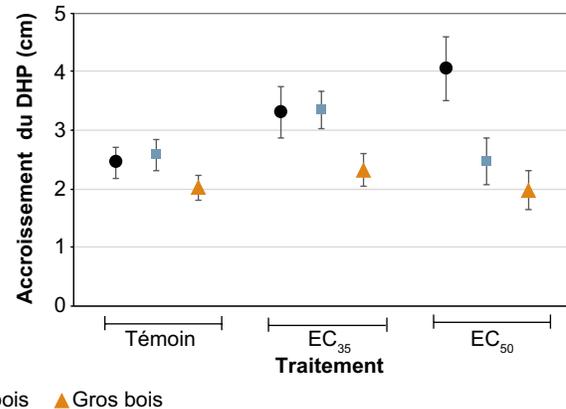


**Figure 13.** Droites de régression de l'accroissement décennal du DHP du bouleau à papier en fonction de son DHP après la coupe, pour chacune des parcelles : a) selon le traitement; b) selon la structure diamétrale. EC<sub>35</sub> : éclaircie de moyenne intensité; EC<sub>50</sub> : éclaircie de forte intensité.

a) DHP de 15 cm



b) DHP de 30 cm



**Figure 14.** Accroissement décennal du DHP des bouleaux à papier de DHP de 15 cm (a) et de 30 cm (b), prédit par la droite de régression de l'accroissement décennal en diamètre en fonction du DHP après la coupe, selon le traitement et la structure diamétrale. Les barres indiquent l'intervalle de confiance de la moyenne pour un seuil de probabilité  $\alpha = 0,05$ . EC<sub>35</sub> : éclaircie de moyenne intensité; EC<sub>50</sub> : éclaircie de forte intensité.

élevé dans la parcelle de l'EC<sub>35</sub> (1,4 m<sup>2</sup>/ha) et d'une mortalité anormalement faible dans la parcelle de l'EC<sub>50</sub> (0,5 m<sup>2</sup>/ha).

### 2.3.5.1.2 Bouleau à papier

Comme la surface terrière en bouleau à papier de l'EC<sub>50</sub> avant la coupe était plus faible en moyenne que celle de l'EC<sub>35</sub> et du Témoin (respectivement de 17,9 m<sup>2</sup>/ha contre 23,0 et 21,1 m<sup>2</sup>/ha; tableau 3),

la surface terrière après la coupe en bouleau à papier de l'EC<sub>50</sub> était plus faible que prévu. Cela se confirme par la proportion de bouleaux à papier après la coupe : alors qu'elle a augmenté de 10 % pour atteindre 95 % pour l'EC<sub>35</sub>, elle n'est que de 82 % pour l'EC<sub>50</sub>, malgré une augmentation de 15 % (tableau 3). Ainsi, la production en bouleau à papier dans les parcelles de l'EC<sub>50</sub> est biaisée par rapport aux 2 autres traitements. Conséquemment,

**Tableau 7.** Surface terrière avant la coupe, immédiatement après la coupe et 10 ans après la coupe; bilan de production 10 ans après la coupe et taux de production, par traitement et par structure diamétrale, pour toutes les espèces et le bouleau à papier de DHP  $\geq 9,1$  cm.

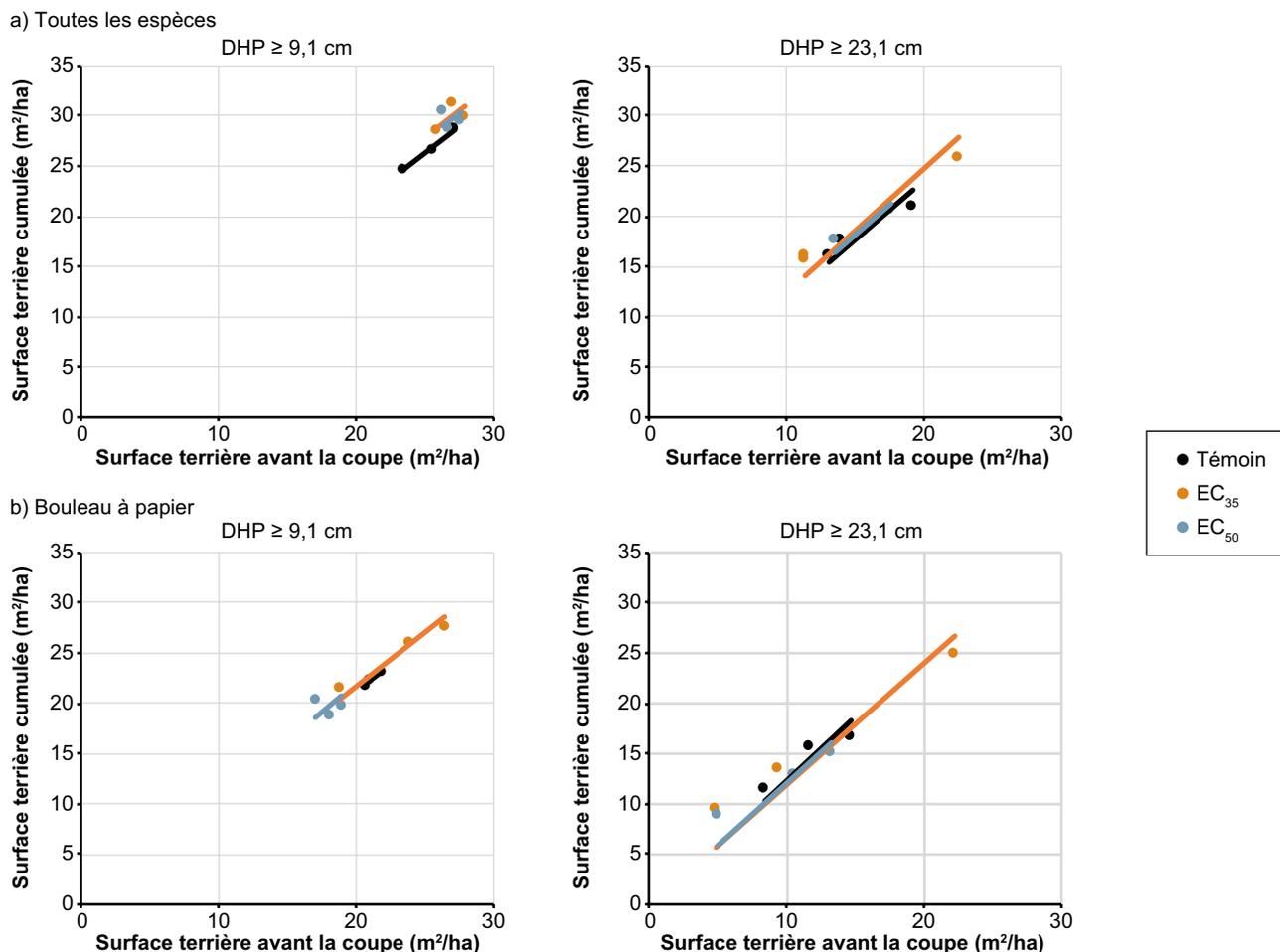
Espèce	Traitement*	Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)		Cumul (coupé + 10 ans)		Bilan de production† (m <sup>2</sup> /ha)				Taux de production†				
		Avant la coupe	Après la coupe	10 ans	m <sup>2</sup> /ha	%	PROD <sub>nette</sub>	ACC SURV	MORT	REC	PROD <sub>nette</sub> / APC‡	ACC SURV / APC§	MORT / APC‡	REC / PROD <sub>nette</sub>
Toutes les espèces	Petit bois	27,3	-	28,8	28,8	6 %	1,6	4,1	2,9	0,3	6 %	17 %	11 %	19 %
	Moyen bois	23,5	-	24,6	24,6	5 %	1,1	3,6	2,5	0,1	5 %	17 %	11 %	8 %
	Gros bois	25,7	-	26,6	26,6	3 %	0,8	3,5	2,9	0,2	3 %	16 %	11 %	21 %
	<b>Moyenne</b>	<b>25,5</b>	<b>-</b>	<b>26,7</b>	<b>26,7</b>	<b>5 %</b>	<b>1,2</b>	<b>3,7</b>	<b>2,8</b>	<b>0,2</b>	<b>5 %</b>	<b>16 %</b>	<b>11 %</b>	<b>16 %</b>
EC <sub>35</sub>	Petit bois	27,1	18,6	22,8	31,3	16 %	4,2	4,4	1,6	1,4	23 %	26 %	8 %	33 %
	Moyen bois	26,0	17,3	19,9	28,6	10 %	2,7	3,7	1,5	0,4	15 %	24 %	8 %	15 %
	Gros bois	28,0	19,3	21,2	29,9	7 %	1,9	3,3	1,6	0,2	10 %	19 %	8 %	10 %
	<b>Moyenne</b>	<b>27,0</b>	<b>18,4</b>	<b>21,3</b>	<b>29,9</b>	<b>11 %</b>	<b>2,9</b>	<b>3,8</b>	<b>1,6</b>	<b>0,7</b>	<b>16 %</b>	<b>23 %</b>	<b>8 %</b>	<b>23 %</b>
EC <sub>50</sub>	Petit bois	26,3	12,1	16,5	30,7	16 %	4,3	4,1	0,5	0,7	36 %	36 %	4 %	16 %
	Moyen bois	27,6	14,5	16,4	29,5	7 %	1,9	2,8	1,9	1,0	13 %	22 %	13 %	55 %
	Gros bois	26,8	14,7	16,7	28,8	7 %	2,0	2,9	1,4	0,5	13 %	22 %	9 %	25 %
	<b>Moyenne</b>	<b>26,9</b>	<b>13,8</b>	<b>16,5</b>	<b>29,7</b>	<b>10 %</b>	<b>2,7</b>	<b>3,3</b>	<b>1,3</b>	<b>0,8</b>	<b>20 %</b>	<b>26 %</b>	<b>9 %</b>	<b>28 %</b>
Témoin	Petit bois	21,8	-	23,1	23,1	6 %	1,3	3,1	1,9	0,0	6 %	16 %	9 %	2 %
	Moyen bois	20,9	-	22,4	22,4	7 %	1,5	3,3	1,9	0,1	7 %	17 %	9 %	6 %
	Gros bois	20,6	-	21,8	21,8	6 %	1,2	2,8	1,7	0,1	6 %	15 %	8 %	11 %
	<b>Moyenne</b>	<b>21,1</b>	<b>-</b>	<b>22,4</b>	<b>22,4</b>	<b>6 %</b>	<b>1,3</b>	<b>3,1</b>	<b>1,8</b>	<b>0,1</b>	<b>6 %</b>	<b>16 %</b>	<b>9 %</b>	<b>6 %</b>
Bouleau à papier	Petit bois	18,7	17,4	20,2	21,5	15 %	2,7	3,9	1,4	0,3	16 %	24 %	8 %	9 %
	Moyen bois	23,7	17,1	19,5	26,1	10 %	2,3	3,7	1,5	0,1	14 %	23 %	9 %	6 %
	Gros bois	26,4	17,9	19,0	27,5	4 %	1,1	2,8	1,6	0	6 %	17 %	9 %	0 %
	<b>Moyenne</b>	<b>23,0</b>	<b>17,5</b>	<b>19,6</b>	<b>25,0</b>	<b>9 %</b>	<b>2,1</b>	<b>3,4</b>	<b>1,5</b>	<b>0,1</b>	<b>12 %</b>	<b>21 %</b>	<b>8 %</b>	<b>6 %</b>
EC <sub>50</sub>	Petit bois	16,9	11,9	15,4	20,4	21 %	3,5	3,9	0,5	0,1	29 %	34 %	4 %	4 %
	Moyen bois	18,9	10,9	11,9	19,9	5 %	0,9	2,0	1,3	0,2	9 %	21 %	11 %	17 %
	Gros bois	18,0	10,9	11,7	18,8	4 %	0,8	1,7	0,9	0	7 %	17 %	8 %	0 %
	<b>Moyenne</b>	<b>17,9</b>	<b>11,3</b>	<b>13,0</b>	<b>19,7</b>	<b>10 %</b>	<b>1,7</b>	<b>2,5</b>	<b>0,9</b>	<b>0,1</b>	<b>15 %</b>	<b>24 %</b>	<b>8 %</b>	<b>6 %</b>

\* EC<sub>35</sub> : éclaircie de moyenne intensité; EC<sub>50</sub> : éclaircie de forte intensité.

† PROD<sub>nette</sub> : production nette; ACC SURV : production par accroissement des survivants; MORT : mortalité; REC : recrutement; APC : immédiatement après la coupe.

‡ Relativement à la surface terrière après la coupe (ou, pour le Témoin : celle avant la coupe)

§ Relativement à la surface terrière après la coupe, soustraite de la mortalité (MORT) (ou, pour le Témoin : celle avant la coupe soustraite de la mortalité [MORT])



**Figure 15.** Surface terrière cumulée (arbres coupés et arbres sur pied après 10 ans) par traitement en fonction de la surface terrière avant la coupe, pour deux classes de DHP : a) pour toutes les espèces; b) pour le bouleau à papier.

les comparaisons entre les traitements ont été faites avec précaution en gardant en mémoire ce biais. Le lecteur devra en tenir compte dans l'interprétation des résultats.

Dix ans après la coupe, la production nette du bouleau à papier a été plus forte dans les parcelles éclaircies que dans les parcelles témoins (moyennes de 2,1 m<sup>2</sup>/ha pour l'EC<sub>35</sub> et de 1,7 m<sup>2</sup>/ha pour l'EC<sub>50</sub> contre 1,3 m<sup>2</sup>/ha pour le Témoin; tableau 7). Comme le recrutement en bouleau à papier a été faible pour tous les traitements (0,1 m<sup>2</sup>/ha), la production nette découle donc de la différence entre la mortalité et la production par accroissement des survivants. Puisque le taux de mortalité a été comparable pour les trois traitements (de 8 à 9 %), la mortalité a donc augmenté en fonction de la surface terrière après la coupe (0,9 m<sup>2</sup>/ha pour l'EC<sub>50</sub>, 1,5 m<sup>2</sup>/ha pour l'EC<sub>35</sub> et 1,8 m<sup>2</sup>/ha pour le Témoin). La production par accroissement des survivants a été plus faible pour l'EC<sub>50</sub> (2,5 m<sup>2</sup>/ha) que pour l'EC<sub>35</sub> (3,4 m<sup>2</sup>/ha); cependant, le taux de production a été comparable pour ces deux traitements (24 et 21 %). La surface

terrière cumulée en 10 ans (bouleaux à papier coupés et sur pied après 10 ans) a été semblable pour les 3 traitements (figure 15b).

Les productions nettes pour l'EC<sub>35</sub> et l'EC<sub>50</sub> ont été 2 et 4 fois plus grandes dans les parcelles à structure de Petit bois que dans celles à structure de Gros bois (2,7 m<sup>2</sup>/ha contre 1,1 m<sup>2</sup>/ha pour l'EC<sub>35</sub>, et 3,5 m<sup>2</sup>/ha contre 0,8 m<sup>2</sup>/ha pour l'EC<sub>50</sub>; tableau 7). Cette différence a été en grande partie attribuable aux différences de production par accroissement des survivants. Dans les parcelles à structure de Petit bois, le taux de production par accroissement des bouleaux survivants a augmenté avec l'intensité de prélèvement (respectivement 16, 24 et 34 % pour le Témoin, l'EC<sub>35</sub> et l'EC<sub>50</sub>).

Le schéma de croissance en diamètre du bouleau à papier semble avoir influencé la production par accroissement des survivants. En effet, pour un même traitement, la production nette a été moindre dans les parcelles où l'accroissement en diamètre des bouleaux à papier n'augmentait pas avec leur

grosneur ( $EC_{35}$  — Gros bois,  $EC_{50}$  — Moyen et Gros bois; annexe 1) que dans celles où ce n'était pas le cas (tableau 7).

### 2.3.5.2 Arbres de DHP $\geq 23,1$ cm

#### 2.3.5.2.1 Toutes les espèces

Comme la moyenne de la surface terrière des arbres de DHP  $\geq 23,1$  cm avant la coupe était très similaire pour les 3 traitements (15,2, 15,4 et 15,7  $m^2/ha$ ), les comparaisons entre les traitements peuvent être effectuées directement à partir des valeurs de production. Dix ans après la coupe, la production nette des arbres de DHP  $\geq 23,1$  cm, pour l'ensemble des espèces, a été plus grande pour l' $EC_{35}$  (moyenne de 4,1  $m^2/ha$ ) que pour le Témoin ou l' $EC_{50}$  (2,9 et 3,2  $m^2/ha$ ; tableau 8). Comme le recrutement a été comparable pour tous les traitements (de 2,5 à 2,7  $m^2/ha$ ), les différences dans la production nette découlent de celles entre la mortalité et la production par accroissement des survivants. Quoique cette dernière ait été plus grande pour le Témoin (2,2  $m^2/ha$ ) que pour les traitements d'éclaircie (1,7 et 1,1  $m^2/ha$ ), elle a été insuffisante pour compenser la mortalité beaucoup plus forte pour le Témoin (1,8  $m^2/ha$ , soit un taux de 11 %) que pour les traitements d'éclaircie (0,2 et 0,4  $m^2/ha$ , soit des taux respectifs de 3 et de 6 %). En raison d'une plus grande surface terrière après la coupe, l'accroissement des survivants est aussi la composante qui explique la plus grande production pour l' $EC_{35}$  que pour l' $EC_{50}$ , puisque les taux de production pour ces deux traitements ont été comparables (20 % et 18 %). Le recrutement a contribué de manière très significative à la production nette pour les 3 traitements (de 65 à 86 %; tableau 8).

Contrairement aux tiges de DHP  $\geq 9,1$  cm, la surface terrière cumulée en 10 ans (arbres coupés et sur pied après 10 ans) des tiges de DHP  $\geq 23,1$  cm a été semblable pour les 3 traitements (figure 15a). Pour chacun des traitements, la production décennale nette de l'ensemble des espèces a été en moyenne plus grande chez les arbres de DHP  $\geq 23,1$  cm que chez ceux de DHP  $\geq 9,1$  cm (2,9 à 4,1  $m^2/ha$  contre 1,2 à 2,9  $m^2/ha$ ; tableaux 7 et 8). Cette production accrue est attribuable à un recrutement beaucoup plus fort (2,5 à 2,7  $m^2/ha$  contre 0,2 à 0,8  $m^2/ha$ ), et à une mortalité moindre (0,2 à 1,8  $m^2/ha$  contre 1,3 à 2,8  $m^2/ha$ ), même si la production par accroissement des survivants a été plus faible (1,1 à 2,2  $m^2/ha$  comparé à 3,3 à 3,8  $m^2/ha$ ; tableaux 7 et 8). Pour le Témoin, que l'on considère les tiges de DHP  $\geq 9,1$  cm (tableau 7) ou de DHP  $\geq 23,1$  cm (tableau 8), le taux de mortalité ainsi que le taux de production par accroissement des survivants ont été identiques. Par contre, pour

l' $EC_{35}$  et l' $EC_{50}$ , ces taux ont été légèrement plus faibles pour les tiges de DHP  $\geq 23,1$  cm que pour celles de DHP  $\geq 9,1$  cm (respectivement 3 et 6 % contre 8 et 9 % pour le taux de mortalité, et 20 et 18 % contre 23 et 26 % pour le taux de production par accroissement des survivants).

De grandes variations dans la production ont été observées entre les parcelles d'un même traitement. Elles résultent en partie de la variation de la surface terrière après la coupe, qui a influencé la production par accroissement des survivants et la mortalité (tableau 8). Dans les parcelles à structure de Petit bois, le taux de production par accroissement des survivants a augmenté avec l'intensité du prélèvement, pour atteindre respectivement 17, 24 et 30 % pour le Témoin, l' $EC_{35}$  et l' $EC_{50}$ , alors qu'il a peu varié (de 13 à 17 %) dans les parcelles à structure de Gros bois.

#### 2.3.5.2.2 Bouleau à papier

Les valeurs de production nette du bouleau à papier de DHP  $\geq 23,1$  cm ont suivi de près celles de l'ensemble des espèces. Toutefois, comme pour les bouleaux à papier de DHP  $\geq 9,1$  cm, la surface terrière en bouleau à papier était plus faible avant la coupe dans les parcelles de l' $EC_{50}$  que dans celles de l' $EC_{35}$  et le Témoin (respectivement de 9,5  $m^2/ha$  contre 12,1 et 11,5  $m^2/ha$ ; tableau 8). Un biais dans la surface terrière en bouleau à papier après la coupe, et par conséquent, dans la production obtenue après 10 ans, est donc présent pour l' $EC_{50}$  par rapport aux 2 autres traitements. Conséquemment, les comparaisons entre les traitements ont été faites avec précaution en gardant en mémoire ce biais. Le lecteur devra en tenir compte dans l'interprétation des résultats.

Dix ans après la coupe, la production nette en bouleau à papier a été plus grande pour l' $EC_{35}$  que pour le Témoin ou l' $EC_{50}$  (moyenne de 3,9  $m^2/ha$  contre 3,1 et 2,8  $m^2/ha$ ; tableau 8), mais les différences n'étaient pas statistiquement significatives (annexe 3 : tableau A4). De même, la surface terrière cumulée en 10 ans (arbres coupés et sur pied après 10 ans) a été semblable pour les 3 traitements (figure 15b). Comme le recrutement a été comparable dans tous les traitements (de 2,1 à 2,4  $m^2/ha$ ; tableau 8), les différences dans la production nette découlent de celles entre la mortalité et la production par accroissement des survivants. La mortalité est la seule composante de la production qui a varié significativement entre les traitements (0,9  $m^2/ha$  pour le Témoin contre 0,2 et 0,3  $m^2/ha$  pour les éclaircies;  $p = 0,01$ ; tableau 8 et annexe 3, tableau A5). La plus grande production nette pour l' $EC_{35}$  que pour le Témoin découle essentiellement

**Tableau 8.** Surface terrière avant la coupe, immédiatement après la coupe et 10 ans après la coupe; bilan de production 10 ans après la coupe et taux de production, par traitement et par structure diamétrale, pour toutes les espèces et le bouleau à papier de DHP  $\geq 23,1$  cm.

Espèce	Traitement*	Surface terrière (m <sup>2</sup> /ha)		Cumul (coupé + 10 ans)		Bilan de production† (m <sup>2</sup> /ha)			Taux de production†					
		Avant la coupe	Après la coupe	10 ans	m <sup>2</sup> /ha	%	PROD <sub>nette</sub>	ACC SURV	MORT	REC	PROD <sub>nette</sub> / APC‡	ACC SURV / APC§	MORT / APC‡	REC / PROD <sub>nette</sub>
Témoin	Petit bois	13,1	-	16,2	16,2	24 %	3,1	2,0	1,5	2,6	24 %	17 %	11 %	84 %
	Moyen bois	14,0	-	17,7	17,7	27 %	3,7	2,1	1,5	3,1	27 %	17 %	11 %	84 %
	Gros bois	19,2	-	21,1	21,1	10 %	1,8	2,4	2,2	1,7	10 %	14 %	12 %	91 %
	<b>Moyenne</b>	<b>15,4</b>	<b>-</b>	<b>18,3</b>	<b>18,3</b>	<b>19 %</b>	<b>2,9</b>	<b>2,2</b>	<b>1,8</b>	<b>2,5</b>	<b>19 %</b>	<b>16 %</b>	<b>11 %</b>	<b>86 %</b>
Toutes les espèces	Petit bois	11,4	3,8	8,6	16,2	42 %	4,8	0,9	0	3,8	124 %	24 %	0 %	81 %
	Moyen bois	11,4	7,9	12,2	15,7	38 %	4,3	1,8	0,2	2,7	55 %	23 %	3 %	63 %
	Gros bois	22,6	14,4	17,7	26,0	15 %	3,3	2,3	0,5	1,5	23 %	17 %	4 %	45 %
	<b>Moyenne</b>	<b>15,2</b>	<b>8,7</b>	<b>12,8</b>	<b>19,3</b>	<b>27 %</b>	<b>4,1</b>	<b>1,7</b>	<b>0,2</b>	<b>2,7</b>	<b>47 %</b>	<b>20 %</b>	<b>3 %</b>	<b>65 %</b>
EC <sub>50</sub>	Petit bois	13,7	3,8	7,9	17,8	30 %	4,1	1,1	0	3,0	107 %	30 %	0 %	72 %
	Moyen bois	15,8	6,7	9,3	18,4	16 %	2,6	1,1	0,7	2,3	39 %	18 %	11 %	87 %
	Gros bois	17,7	8,1	11,1	20,6	17 %	3,0	1,0	0,4	2,3	36 %	13 %	4 %	77 %
	<b>Moyenne</b>	<b>15,7</b>	<b>6,2</b>	<b>9,5</b>	<b>18,9</b>	<b>21 %</b>	<b>3,2</b>	<b>1,1</b>	<b>0,4</b>	<b>2,5</b>	<b>52 %</b>	<b>18 %</b>	<b>6 %</b>	<b>78 %</b>
Témoin	Petit bois	8,3	-	11,5	11,5	39 %	3,2	1,2	0,6	2,6	39 %	15 %	7 %	81 %
	Moyen bois	11,6	-	15,7	15,7	36 %	4,1	1,9	0,9	3,1	36 %	18 %	8 %	76 %
	Gros bois	14,7	-	16,6	16,6	13 %	2,0	1,7	1,2	1,5	13 %	13 %	8 %	74 %
	<b>Moyenne</b>	<b>11,5</b>	<b>-</b>	<b>14,6</b>	<b>14,6</b>	<b>27 %</b>	<b>3,1</b>	<b>1,6</b>	<b>0,9</b>	<b>2,4</b>	<b>27 %</b>	<b>15 %</b>	<b>8 %</b>	<b>78 %</b>
Bouleau à papier	Petit bois	4,7	3,8	8,6	9,5	101 %	4,8	0,9	0	3,8	124 %	24 %	0 %	81 %
	Moyen bois	9,3	7,9	12,0	13,5	44 %	4,1	1,8	0,2	2,5	52 %	23 %	3 %	61 %
	Gros bois	22,3	14,2	16,9	25,0	12 %	2,7	2,3	0,5	0,9	19 %	17 %	4 %	34 %
	<b>Moyenne</b>	<b>12,1</b>	<b>8,7</b>	<b>12,5</b>	<b>16,0</b>	<b>32 %</b>	<b>3,9</b>	<b>1,7</b>	<b>0,2</b>	<b>2,4</b>	<b>45 %</b>	<b>20 %</b>	<b>3 %</b>	<b>63 %</b>
EC <sub>35</sub>	Petit bois	4,9	3,8	7,9	9,0	83 %	4,1	1,1	0	3,0	107 %	30 %	0 %	72 %
	Moyen bois	10,5	5,8	8,1	12,8	22 %	2,3	1,0	0,6	1,9	40 %	19 %	10 %	82 %
	Gros bois	13,2	7,8	9,7	15,1	15 %	2,0	1,0	0,4	1,4	26 %	13 %	5 %	69 %
	<b>Moyenne</b>	<b>9,5</b>	<b>5,8</b>	<b>8,6</b>	<b>12,3</b>	<b>29 %</b>	<b>2,8</b>	<b>1,0</b>	<b>0,3</b>	<b>2,1</b>	<b>48 %</b>	<b>19 %</b>	<b>5 %</b>	<b>74 %</b>

\* EC : éclaircie de moyenne intensité; EC<sub>50</sub> : éclaircie de forte intensité.

† PROD<sub>nette</sub> : production nette; ACC SURV : production par accroissement des survivants; MORT : mortalité; REC : recrutement; APC : immédiatement après la coupe.

‡ Relativement à la surface terrière après la coupe (ou avant la coupe pour le Témoin)

§ Relativement à la surface terrière après la coupe, soustraite de la mortalité (MORT) (ou, pour le Témoin : celle avant la coupe soustraite de la mortalité [MORT])

d'une mortalité plus faible. Par rapport à l'EC<sub>50</sub>, la plus grande production nette pour l'EC<sub>35</sub> provient d'une plus grande production par accroissement des survivants (1,7 contre 1,0 m<sup>2</sup>/ha). Ceci découle d'une surface terrière plus grande après la coupe, puisque les taux de production par accroissement des survivants ont été semblables (20 % et 19 %). Comme le recrutement a contribué de manière très significative (de 63 à 78 %) à la production nette pour chacun des traitements (tableau 8), la production est donc en grande partie constituée par des bouleaux à papier de petites dimensions de sciage.

De grandes variations dans la production nette des bouleaux à papier de DHP  $\geq$  23,1 cm ont été observées entre les parcelles d'un même traitement, et suivent les mêmes tendances que pour ceux de DHP  $\geq$  9,1 cm. En moyenne, pour chacun des traitements, la production nette 10 après la coupe des bouleaux à papier de DHP  $\geq$  23,1 cm a été de 1,6 à 2,4 fois plus grande que celle des bouleaux à papier de DHP  $\geq$  9,1 cm (respectivement de 2,8 à 3,9 m<sup>2</sup>/ha et de 1,3 à 2,1 m<sup>2</sup>/ha; tableaux 7 et 8). Cette différence est attribuable, d'une part, à un recrutement assez fort chez les bouleaux à papier de DHP  $\geq$  23,1 cm (de 2,1 à 2,4 m<sup>2</sup>/ha; tableau 8), alors qu'il était presque inexistant chez les bouleaux à papier de DHP  $\geq$  9,1 cm (0,1 m<sup>2</sup>/ha; tableau 7), et d'autre part, à une mortalité moindre (de 0,2 à 0,9 m<sup>2</sup>/ha contre et de 0,9 à 1,8 m<sup>2</sup>/ha), malgré une production par accroissement des survivants plus petite (de 1,0 à 1,7 m<sup>2</sup>/ha et de 2,5 à 3,4 m<sup>2</sup>/ha).

### 2.3.5.3 Classes de DHP de sciage

La production par classe de DHP de sciage est présentée en nombre de tiges plutôt qu'en surface terrière. Contrairement au bilan de production en surface terrière, la composante de l'accroissement par les survivants est remplacée par le nombre de survivants (qui n'entre pas dans le calcul de la production nette). La production avant le transfert de classe de DHP est un meilleur comparateur de la production que la production nette. En effet, le transfert de classe ne constitue pas une perte de production en soi, puisqu'il bénéficiera à la classe supérieure de DHP en tant que recrutement.

Dix ans après la coupe, il y a eu plus de recrutement de bouleaux à papier de dimensions de sciage (DHP  $\geq$  23,1 cm) pour le Témoin et l'EC<sub>35</sub> que pour l'EC<sub>50</sub> (respectivement 52 et 53 bouleaux/ha contre 43 bouleaux/ha; tableau 9). À cause d'une mortalité plus forte chez le Témoin, l'EC<sub>35</sub> a été le traitement pour lequel la production nette a été la plus grande, et ce, dans chacune des 3 classes de DHP

de sciage. Par rapport à la situation après la coupe, cela a représenté un gain de 35 à 38 % pour les traitements d'éclaircie et de 25 % pour le Témoin.

Dans la classe de sciage regroupant les arbres de petites dimensions (DHP de 23,1 à 33,0 cm), la production avant transfert de classe a été plus faible pour l'EC<sub>50</sub> que pour l'EC<sub>35</sub> et le Témoin (tableau 9), entre autres à cause d'une mortalité plus forte en raison d'un taux de mortalité plus élevé (8 % contre 2 % pour l'EC<sub>35</sub> et 4 % pour le Témoin), et d'un recrutement plus faible qui découle d'un plus petit nombre de bouleaux à papier de 9,1 à 23,0 cm de DHP après la coupe. De plus, les bouleaux à papier qui ont changé de classe ont été près de 2 fois moins nombreux pour l'EC<sub>50</sub>, en grande partie en raison du plus petit nombre de bouleaux à papier après la coupe, puisque le taux de transfert a été comparable aux 2 autres traitements (9 % contre 10 et 12 %). La production nette de la classe de DHP de 9,1 à 23,0 cm a représenté de 73 à 84 % de la production nette des tiges de DHP  $\geq$  23,1 cm. Le nombre de tiges cumulé sur une période de 10 ans a été plus grand pour l'EC<sub>35</sub> non à cause d'une meilleure performance (122 % contre 123 et 127 % pour les 2 autres traitements), mais plutôt à cause d'un nombre de tiges plus élevé avant la coupe.

Dans la classe de sciage regroupant les arbres de dimensions intermédiaires (DHP de 33,1 à 39,0 cm), le nombre à l'hectare de bouleaux à papier après la coupe dans les parcelles éclaircies était environ la moitié de celui dans les parcelles témoins (tableau 9). Malgré tout, l'EC<sub>35</sub> s'est démarquée par une production avant transfert de classe plus grande que pour l'EC<sub>50</sub> et le Témoin (respectivement 13 tiges/ha contre 7 et 8 tiges/ha). Par rapport à l'EC<sub>35</sub>, la production plus faible pour l'EC<sub>50</sub> s'explique par un recrutement plus faible découlant du plus petit nombre de bouleaux à papier de DHP de 23,1 à 33,0 cm après la coupe (83 tiges/ha contre 124 tiges/ha), et du taux de recrutement un peu plus faible (8 % contre 12 %). Par rapport à l'EC<sub>35</sub>, la production plus faible du Témoin s'explique par une mortalité un peu plus forte et un recrutement un peu plus faible. Aucun bouleau à papier n'a changé de classe pour l'EC<sub>50</sub>. La production nette de la classe de DHP de 33,1 à 39,0 cm a représenté 19 % de la production nette des tiges de DHP  $\geq$  23,1 cm pour les traitements d'éclaircie, comparativement à 10 % pour le Témoin. Le nombre de tiges cumulé sur 10 ans a été un peu plus grand pour l'EC<sub>35</sub>, à cause d'une performance un peu meilleure (141 % contre 133 % pour l'EC<sub>50</sub> et 117 % pour le Témoin, tableau 9).

**Tableau 9.** Bilan de la production décennale du bouleau à papier en nombre de tiges par classe minimale de DHP correspondant à la classe de qualité de sciage après la coupe. Seules les valeurs inférieures à 5 tiges/ha sont affichées à la décimale près.

Classe de DHP (cm)	Nombre de tiges/ha†			Cumul (coupé + 10 ans)		Bilan de production† (nombre de tiges/ha)			Taux de production†						
	AVC	Coupé	APC	10 ans	de tiges /ha	%	PROD nette	SURV	MORT	REC	PROD avant transfert / APC	MORT / APC	REC / SURV	Transfert / SURV	PROD <sub>nette</sub> / PROD <sub>nette</sub> 23 cm+
≥ 39,1															
Témoins	13	-	-	16	16	120 %	2,7	12	1,3	4,0	2,7	-	-	-	6 %
EC <sub>35</sub>	4,0	1,3	2,7	7	8	200 %	4,0	2,7	0	4,0	4,0	-	-	-	8 %
EC <sub>50</sub>	2,7	1,3	1,3	1,3	2,7	100 %	0	1,3	0	0	0	-	-	-	0 %
33,1 à 39,0															
Témoins	24	-	-	28	28	117 %	4,0	20	4,0	12	8	4,0	4,0	20 %	10 %
EC <sub>35</sub>	23	9	13	23	32	141 %	9	12	1,3	15	13	4,0	4,0	33 %	19 %
EC <sub>50</sub>	20	9	11	17	27	133 %	7	11	0	7	7	0	0	0 %	19 %
23,1 à 33,0															
Témoins	127	-	-	161	161	127 %	35	121	5	52	47	12	12	10 %	84 %
EC <sub>35</sub>	164	40	124	160	200	122 %	36	121	2,7	53	51	15	15	12 %	73 %
EC <sub>50</sub>	129	47	83	112	159	123 %	29	76	7	43	36	7	7	9 %	81 %
9,1 à 23,0															
Témoins	436	-	-	337	337	77 %	-99	379	57	11	-47	52	52	14 %	-
EC <sub>35</sub>	512	95	417	308	403	79 %	-109	347	71	15	-56	53	53	15 %	-
EC <sub>50</sub>	409	147	263	195	341	83 %	-68	224	39	13	-25	43	43	19 %	-
≥ 23,1															
Témoins	164	-	-	205	205	125 %	41	153	11	52	41	-	-	-	-
EC <sub>35</sub>	191	51	140	189	240	126 %	49	136	4,0	53	49	-	-	-	-
EC <sub>50</sub>	152	57	95	131	188	124 %	36	88	7	43	36	-	-	-	-
≥ 9,1															
Témoins	600	-	-	543	543	90 %	-57	532	68	11	-57	-	-	-	-
EC <sub>35</sub>	703	145	557	497	643	91 %	-60	483	75	15	-60	-	-	-	-
EC <sub>50</sub>	561	204	357	325	529	94 %	-32	312	45	13	-32	-	-	-	-

\* EC<sub>35</sub> : éclaircie de moyenne intensité; EC<sub>50</sub> : éclaircie de forte intensité.

† AVC = avant la coupe; APC = immédiatement après la coupe; PRODnette = production nette; SURV = survivants; MORT = mortalité; REC = recrutement; 23 cm+ : arbres de DHP ≥ 23,1 cm.

‡ Relativement au nombre de tiges après la coupe (ou avant la coupe pour le Témoins).

§ Relativement au nombre de tiges après la coupe de la classe de DHP immédiatement inférieure.

Dans la classe de sciage regroupant les plus gros arbres (DHP  $\geq$  39,1 cm), seulement quelques bouleaux à papier étaient présents avant et après la coupe pour les traitements d'éclaircie, comparativement à 13 bouleaux/ha pour le Témoin (tableau 9). Pour l'EC<sub>50</sub>, la production nette a été nulle, puisqu'aucun recrutement ni aucune mortalité n'ont été observés. Pour l'EC<sub>35</sub> et le Témoin, la production nette n'a été que de quelques tiges/ha et a représenté respectivement 8 % (EC<sub>35</sub>) et 6 % (Témoin) de celle de l'ensemble des tiges de DHP  $\geq$  23,1 cm. Le nombre de tiges cumulé sur 10 ans a doublé pour l'EC<sub>35</sub> par rapport au nombre avant la coupe, alors que pour les 2 autres traitements, il a peu ou pas changé.

Dans la classe de DHP de 9,1 à 23,0 cm, qui regroupe les bouleaux à papier dont les dimensions sont trop petites pour le sciage, la production avant transfert de classe a été négative (pertes de 10 à 13 % des bouleaux à papier après la coupe), en raison d'une mortalité plus forte que le recrutement.

Dix ans après éclaircie, le nombre de bouleaux à papier de dimension de sciage est revenu au même niveau qu'avant la coupe pour l'EC<sub>35</sub>, alors qu'il a diminué pour l'EC<sub>50</sub>, et ce, pour chacune des classes de DHP de sciage, à l'exception de celle de DHP  $\geq$  39,1 cm pour l'EC<sub>35</sub>, dans laquelle les bouleaux étaient plus nombreux qu'avant la coupe (tableau 9). Le nombre cumulatif de bouleaux à papier sur une période de 10 ans a été plus grand que celui avant la coupe pour chacune des classes de DHP de sciage pour les 3 traitements, à l'exception de la classe de DHP  $\geq$  39,1 cm de l'EC<sub>50</sub>, dans laquelle le nombre était le même.

### 2.3.6 Branches adventives

À la 3<sup>e</sup> année suivant la coupe, seulement environ 20 % des bouleaux à papier de DHP compris entre 15,1 cm et 23,0 cm avaient des branches de 30 cm et plus de longueur à moins de 5,5 m de hauteur du sol, et ce, pour tous les traitements (tableau 10). Cette proportion avait peu changé, 8 ans plus tard. Chez ceux qui en possédaient à la 3<sup>e</sup> année, la hauteur médiane variait de 4,1 à 4,3 m selon les traitements, avec une hauteur minimale de 1,0 à 1,6 m. Chez ces mêmes bouleaux à papier, 57 % n'ont présenté aucun changement de la branche la plus basse pour le Témoin, alors que cette proportion est de 79 % et 80 % pour les traitements d'éclaircie. Cependant, pour le Témoin, 31 % des bouleaux ont obtenu une amélioration, soit par une remontée de la branche la plus basse ou par la disparition des branches sur une hauteur de 5,5 m, comparativement à 11 et 13 % pour les traitements d'éclaircie. Une détérioration (apparition de branches à une

hauteur plus basse) a été observée chez 7 à 12 % des bouleaux à papier qui avaient des branches à moins de 5,5 m de hauteur du sol à la 3<sup>e</sup> année suivant la coupe, et chez 1 à 5 % des bouleaux à papier qui n'avaient aucune branche à la 3<sup>e</sup> année à moins de 5,5 m de hauteur du sol.

Chez les bouleaux à papier de DHP  $\geq$  23,1 cm, des branches de 30 cm et plus de longueur à moins de 5,5 m de hauteur du sol à la 3<sup>e</sup> année suivant la coupe étaient présentes sur seulement 14 à 20 % des arbres, selon les traitements (tableau 10). Cette proportion avait peu changé, 8 ans plus tard. Chez ceux qui en possédaient à la 3<sup>e</sup> année, la hauteur médiane de la première branche variait de 3,3 à 4,9 m selon les traitements, avec une hauteur minimale variant de 1,1 à 1,9 m. Huit ans plus tard, cette hauteur médiane est restée inchangée pour 75 % et 78 % d'entre eux pour le Témoin et l'EC<sub>50</sub>, de même que pour tous ceux de l'EC<sub>35</sub>. Pour le Témoin et l'EC<sub>50</sub>, une amélioration a été observée chez 22 % et 25 % d'entre eux, soit par une remontée de la branche la plus basse, soit par la disparition des branches sur une hauteur de 5,5 m; aucune détérioration par la formation de branches plus basses n'a été observée. Chez ceux qui ne présentaient aucune branche à moins de 5,5 m de hauteur du sol à la 3<sup>e</sup> année, des branches sont apparues chez un faible pourcentage de ces bouleaux (2 à 3 %).

Les 15 bouleaux jaunes inventoriés dans les parcelles éclaircies présentaient tous des branches longues d'au moins 30 cm à moins de 5,5 m de hauteur du sol à la 3<sup>e</sup> année suivant la coupe. La hauteur médiane de la première branche était de 2,3 m pour les bouleaux jaunes de 15,1 à 23,0 cm de DHP et de 3,3 m pour ceux de DHP  $\geq$  23,1 cm (tableau 10). La hauteur de la première branche correspondait généralement au début du houppier, alors que chez le bouleau à papier, les premières branches étaient généralement isolées sur le fût. Peu de changements ont été observés 8 ans plus tard.

### 2.3.7 Armillaire

Dès la première année après la coupe, des sporophores d'armillaire avaient été observés sur de nombreuses souches d'arbres abattus lors de la coupe. Dix ans plus tard, des sporophores d'armillaire ont été observés sur au moins la moitié des souches inventoriées de bouleaux à papier abattus lors des éclaircies ainsi que des bouleaux à papier morts sur pied, et ce, dans chacun des traitements (tableau 11). Par contraste, seulement 6 % des bouleaux à papier vivants présentaient des sporophores d'armillaire. La présence de sporophores d'armillaire augmentait ou tendait à augmenter avec la grosseur des bouleaux (figure 16). Pour les

**Tableau 10.** Nombre d'arbres et leur proportion (%) avec et sans branches de plus de 30 cm de longueur sur une hauteur de 5,5 m à partir du sol, 3 ans et 11 ans après la coupe, en fonction de leur grosseur et du traitement, pour le bouleau à papier et le bouleau jaune.

Espèce	DHP (cm)	Traitement*	Total	Avec branches			Avec branches à 3 ans				Sans branches à 3 ans et avec branches à 11 ans	
				Nombre	Hauteur médiane de la première branche (m)	Sans changement à 11 ans	Descente des branches à 11 ans	Remontée des branches à 11 ans	Sans branches à 11 ans	Nombre à 11 ans	Hauteur médiane de la première branche à 11 ans (m)	
												3 ans
Bouleau à papier	15,1 à 23,0 cm	Témoïn	194	42	4,1	4,3	24	5	9	4	3	4,9
		EC <sub>35</sub>	168	30	4,3	4,4	24	2	1	3	2	4,6
		EC <sub>50</sub>	105	19	4,1	4,1	15	2	2	0	4	3,4
	Témoïn	100 %	22 %	21 %	-	-	57 %	12 %	21 %	10 %	2 %	-
	EC <sub>35</sub>	100 %	18 %	17 %	-	-	80 %	7 %	3 %	10 %	1 %	-
	EC <sub>50</sub>	100 %	18 %	22 %	-	-	79 %	11 %	11 %	0 %	5 %	-
	Témoïn	132	27	25	4,3	4,2	21	0	2	4	2	2,6
	EC <sub>35</sub>	109	15	18	4,9	4,7	15	0	0	0	3	3,7
	EC <sub>50</sub>	70	12	13	3,3	3,9	9	0	2	1	2	4,3
	Témoïn	100 %	20 %	19 %	-	-	78 %	0 %	7 %	15 %	2 %	-
EC <sub>35</sub>	100 %	14 %	17 %	-	-	100 %	0 %	0 %	0 %	3 %	-	
EC <sub>50</sub>	100 %	17 %	19 %	-	-	75 %	0 %	17 %	8 %	3 %	-	
Bouleau jaune	15,1 à 23,0 cm	EC <sub>35</sub> + EC <sub>50</sub>	11	11	2,3	2,5	8	1	2	0	0	-
	≥ 23,1 cm	EC <sub>35</sub> + EC <sub>50</sub>	4	4	3,3	3,3	4	0	0	0	0	-

\* EC<sub>35</sub> : éclaircie de moyenne intensité; EC<sub>50</sub> : éclaircie de forte intensité.

**Tableau 11.** Présence de sporophores d'armillaire à la 10<sup>e</sup> année après la coupe sur le bouleau à papier, le peuplier faux-tremble et l'érable rouge en fonction de la catégorie d'arbre et du traitement (dans le cas du bouleau à papier).

Espèce	Traitement*	Arbres abattus (souches)†			Arbres morts sur pied‡			Arbres vivants‡			
		Inventoriés	Avec armillaire	Taux d'échantillonnage	Inventoriés	Avec armillaire	Taux d'échantillonnage	Inventoriés	Avec armillaire	Taux d'échantillonnage	
Bouleau à papier	Témoin	-	-	-	26	13	50 %	398	19	5 %	99,7 %
	EC <sub>35</sub>	35	22	63 %	34	21	62 %	362	29	8 %	100 %
	EC <sub>50</sub>	74	36	49 %	12	6	50 %	233	12	5 %	99,6 %
Total		109	58	53 %	72	40	56 %	993	60	6 %	100 %
Peuplier faux-tremble	Total	10	8	80 %	2	1	50 %	20	1	5 %	100 %
Érable rouge	Total	10	2	20 %	10	3	30 %	84	1	1 %	100 %

\* EC<sub>35</sub> : éclaircie de moyenne intensité; EC<sub>50</sub> : éclaircie de forte intensité.

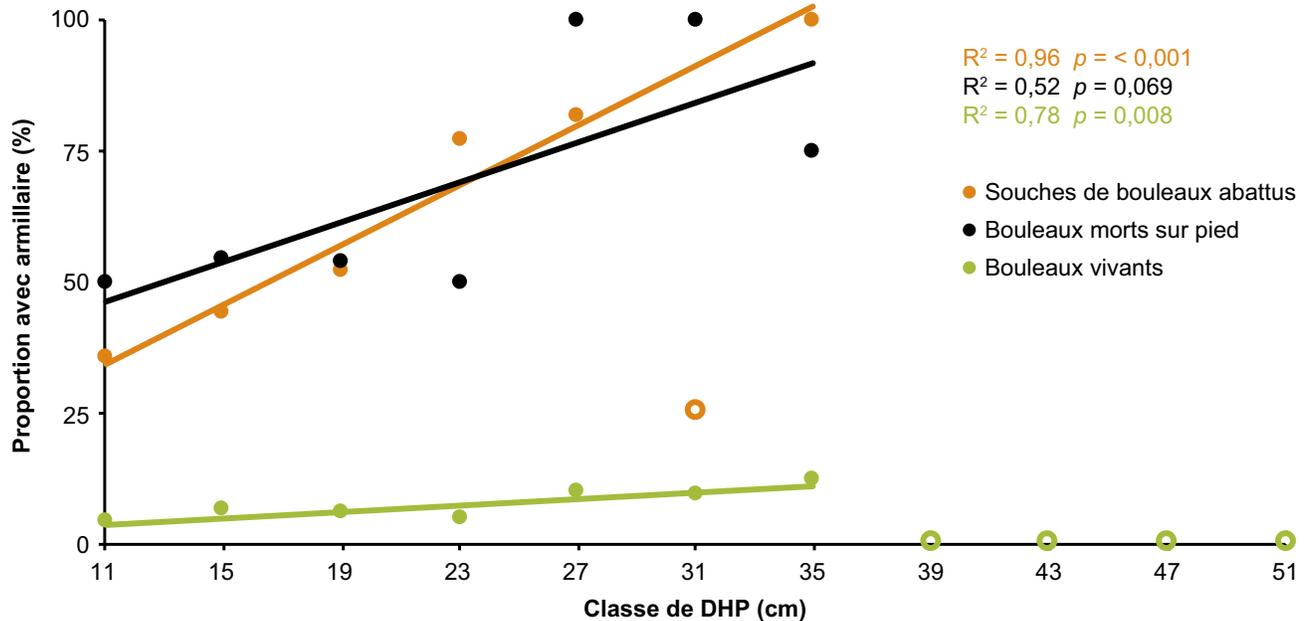
† Inventaire réalisé dans les parcelles éclaircies seulement.

‡ Inventaire réalisé dans les parcelles éclaircies et témoins.

souches d'arbres abattus, la proportion est passée de 35 % (classe de DHP de 11 cm) à 100 % (classe de DHP de 35 cm); pour les bouleaux morts sur pied, elle est passée de 50 % (classe de 11 cm) à 100 % (classes de 27 et de 31 cm); et pour les bouleaux vivants, elle est passée de 4 % (classe de 11 cm) à 12 % (classe de 35 cm).

La présence de sporophores d'armillaire a été beaucoup plus faible chez l'érable rouge que chez

le bouleau à papier ou le peuplier faux-tremble (tableau 11). Plus de souches présentaient des sporophores d'armillaire chez le peuplier faux-tremble que chez le bouleau à papier (80 % contre 53 %), alors que pour les arbres morts sur pied, ces proportions étaient comparables (50 % et 56 %, respectivement). Les arbres vivants des trois espèces d'arbres étaient rarement associés à la présence de sporophores d'armillaire (1 à 6 %).



**Figure 16.** Proportion de bouleaux à papier associés à la présence de sporophores d'armillaire, à la 10<sup>e</sup> année suivant la coupe, en fonction de la classe de DHP, pour différentes catégories d'arbres (souches d'arbres abattus, arbres morts ou arbres vivants). Les lignes représentent les droites de régression de chacun des traitements; leur coefficient de détermination ( $R^2$ ) et leur probabilité ( $p$ ) sont affichés. Les valeurs représentées par un cercle de couleur au lieu d'un point n'ont pas été considérées dans les régressions linéaires.

## Chapitre 3 – Discussion

### 3.1 Caractéristiques de la bétulaie avant la coupe

Deux cohortes semblent exister au sein de cette bétulaie de 100 ans : la principale, composée de bouleaux à papier, de peupliers faux-trembles et de pin gris âgés de 66 à 80 ans, est entremêlée avec une autre, composée de bouleaux à papier âgés de 86 à 99 ans. Il est surprenant de constater qu'une cohorte d'espèces intolérantes à l'ombre se soit installée 2 décennies après l'établissement des premiers bouleaux à papier. La présence de souches calcinées de pin blanc (*Pinus strobus* L.) et de charbons de bois dans l'humus indique qu'un feu est probablement à l'origine de cette seconde cohorte. Effectivement, le 3<sup>e</sup> inventaire décennal indique qu'un feu serait survenu en 1923, ce qui correspond à l'âge des premiers arbres de cette cohorte. Le recrutement en bouleau à papier s'est poursuivi et semblait toujours en cours avant la coupe, comme le démontre la présence de gaules de bouleau à papier.

Le bouleau à papier, une espèce intolérante à l'ombre, peut survivre et croître pendant une période d'oppression assez longue. En effet, dans le peuplement d'étude, plusieurs petits bouleaux à papier de DHP de 9 à 12 cm et âgés de plus de 75 ans ont été observés. Peterson *et al.* (1997) mentionnent que le bouleau à papier pourrait mieux tolérer l'ombre que ce qui est mentionné dans la littérature. Damman (1964) note que le bouleau à papier serait plus tolérant à l'ombre sur les stations riches, comme celle du peuplement d'étude, que sur les stations pauvres.

L'historique de la croissance en diamètre du bouleau à papier a varié selon les cohortes. Pour un bouleau à papier de DHP de 40 cm appartenant à la première cohorte, l'accroissement en diamètre a culminé lorsque le DHP est passé de 8 à 18 cm, soit vers l'âge de 15 à 20 ans, avec des valeurs moyennes de 1 cm/an. Pour un bouleau de DHP de 25 cm de la deuxième cohorte, la croissance a culminé à un DHP de 7 cm, soit vers l'âge de 10 ans, avec un accroissement décennal plus faible. Cette différence s'explique vraisemblablement par le fait que la plupart des bouleaux de la deuxième cohorte ont poussé sous le couvert partiel des bouleaux de la première cohorte, et possiblement celui des peupliers faux-trembles de la deuxième cohorte. Dana (1909) et Marquis *et al.* (1969) mentionnent

que la croissance la plus rapide du bouleau à papier survient entre l'âge de 20 et de 30 ans, et qu'elle diminue par la suite.

La proportion de bouleaux à papier morts sur pied avant la coupe décroît rapidement en fonction de leur grosseur. Cela indique que la mortalité des bouleaux à papier survient surtout chez ceux des classes sociales des intermédiaires et des opprimés, qui subissent une forte compétition pour la lumière de la part des arbres dominants et codominants. Ce schéma de mortalité reflète une situation tout à fait normale d'autoéclaircie dans un peuplement dense, et non celle d'un peuplement en sénescence ou en dépérissement, dans lequel les arbres dominants dépérissent et meurent (Hara 1985, Oliver et Larson 1996, Yarranton et Yarranton 1975). D'ailleurs, 10 ans plus tard, la surface terrière totale et celle des bouleaux à papier ont augmenté dans chacune des parcelles témoins.

### 3.2 Croissance après éclaircie

L'éclaircie a été bénéfique pour la croissance en diamètre des petits bouleaux à papier (DHP de 15 cm). Bien qu'elle soit demeurée faible au cours de la décennie suivant la coupe, la croissance des petits bouleaux a été deux fois plus forte pour l'EC<sub>50</sub> (de 2,0 à 2,5 cm en 10 ans) que pour le Témoin (de 1,0 à 1,3 cm). En Mauricie, dans un peuplement mixte de bouleaux à papier de classe d'âge de 62 ans, Ruel *et al.* (2012) ont observé que, sur une période de 12 ans suivant la coupe, la croissance en diamètre des bouleaux à papier de DHP de 15 cm a été plus forte dans les deux traitements d'éclaircie (surfaces terrières résiduelles de 16 m<sup>2</sup>/ha) que pour le Témoin (28 m<sup>2</sup>/ha), soit respectivement de 1,7 et 1,9 cm contre 1,1 cm. Solomon (1977) a observé, dans des peuplements de feuillus tolérants âgés de 70 à 90 ans, que la croissance décennale en diamètre des bouleaux à papier de la classe des perches (DHP de 5,0 à 10,9 pouces, soit de 12,7 à 27,7 cm) n'a été que légèrement plus forte à des surfaces terrières résiduelles de 14 et 18 m<sup>2</sup>/ha (1,3 à 2,0 cm) qu'à une surface terrière de 23 m<sup>2</sup>/ha (1,0 à 1,8 cm).

Dans les parcelles à structure de Petit bois, l'éclaircie a aussi avantaagé la croissance en diamètre des gros bouleaux (DHP de 30 cm), avec des accroissements de 3,3 et de 4,0 cm pour les traitements d'éclaircie, contre 2,4 cm pour

le Témoin. Par contraste, cette tendance n'était pas visible dans les parcelles à structure de Gros bois. Solomon (1977) et Ruel *et al.* (2012) ont aussi constaté que les gros bouleaux avaient des croissances en diamètre plus fortes que les plus petits, autant après éclaircie que pour le témoin. Ainsi, en Mauricie, dans un peuplement mixte de bouleaux à papier de 62 ans, Ruel *et al.* (2012) ont obtenu, pour les bouleaux à papier de 24 cm de DHP, des croissances moyennes en diamètre de 1,9 et de 2,2 cm dans les traitements d'éclaircie (surface terrière résiduelle de 16 m<sup>2</sup>/ha) et de 1,4 cm pour le Témoin (28 m<sup>2</sup>/ha) sur une période de 12 ans suivant la coupe. Au New Hampshire, dans des peuplements de feuillus tolérants de 70 à 90 ans, Solomon (1977) a observé que la croissance décennale en diamètre des bouleaux à papier de DHP ≥ 28 cm n'a été que légèrement plus forte pour des surfaces terrières résiduelles de 14 et 18 m<sup>2</sup>/ha (1,8 à 2,5 cm) que pour une surface terrière de 23 m<sup>2</sup>/ha (1,5 à 1,8 cm). De même, au New Hampshire, dans un peuplement de feuillus tolérants de 70 ans, Leak (2015) a obtenu des croissances en diamètre légèrement plus fortes pour l'éclaircie (2,4 cm) que pour le témoin (2,1 cm) sur une période de 12 ans suivant la coupe, pour les bouleaux à papier de 25 à 35 cm de DHP.

### 3.3 Production après éclaircie

Les deux traitements d'éclaircie ont plus que doublé la production décennale nette (2,9 m<sup>2</sup>/ha pour l'EC<sub>35</sub> et 2,7 m<sup>2</sup>/ha pour l'EC<sub>50</sub>) par rapport au Témoin (1,2 m<sup>2</sup>/ha). En Mauricie, dans une bétulaie à bouleau à papier de 60 ans avec une composante résineuse représentant de 21 à 52 % de la surface terrière, Ruel *et al.* (2012) ont observé une production décennale à peine plus grande dans les deux traitements d'éclaircie (2,5 et 2,6 m<sup>2</sup>/ha) que dans le témoin (2,2 m<sup>2</sup>/ha), en grande partie engendrée par la composante résineuse. Jensen (1940), 5 ans après avoir prélevé plus de la moitié du volume dans une forêt âgée de 60 ans et composée de feuillus tolérants, a observé une meilleure production relative en surface terrière des bouleaux à papier survivants de la classe de DHP de 10 à 20 cm dans la parcelle éclaircie (19,8 %) que dans la parcelle témoin (14,2 %). En revanche, pour ceux de la classe DHP de 20 à 30 cm, la production relative a été à peine plus grande dans la parcelle éclaircie (15,5 %) que dans la parcelle témoin (15,0 %). Il semble que la structure diamétrale ait influencé la production nette en jouant sur chacune des composantes de la production (accroissement des survivants, recrutement et mortalité), même si aucune analyse statistique ne permet d'appuyer les tendances observées.

Pour un traitement donné, la production nette a toujours été meilleure dans la parcelle avec une structure de Petit bois que dans celle avec une structure de Gros bois, que l'on considère l'ensemble des espèces ou seulement le bouleau à papier. Cela s'applique autant pour les tiges de DHP ≥ 9,1 cm que pour celles de DHP ≥ 23,1 cm, à une exception près, soit la combinaison du traitement Témoin avec une structure de Petit bois pour la production du bouleau à papier de DHP ≥ 9,1 cm. Solomon (1977) et Marquis et Ernst (1991) ont noté que la structure diamétrale de peuplements de feuillus tolérants après éclaircie avait influencé chacune des composantes de la production de ces peuplements. Leurs études ne sont toutefois pas tout à fait comparables à la nôtre, puisqu'ils ont étudié des peuplements composés majoritairement de feuillus tolérants avec une minorité de bouleaux à papier, et que la structure diamétrale avait été créée par la coupe, contrairement à notre étude où les différentes structures diamétrales étaient déjà présentes avant la coupe.

En proportion de la surface terrière de bouleaux à papier après la coupe, la production des bouleaux à papier de dimensions de sciage a été presque 2 fois plus grande pour les traitements d'éclaircie que pour le Témoin. L'éclaircie a dynamisé la production du peuplement en augmentant le taux de croissance des bouleaux à papier et en diminuant leur taux de mortalité. Par contre, comme la surface terrière après la coupe est plus grande pour le Témoin, la production (en m<sup>2</sup>/ha) a été comparable à celle des traitements d'éclaircie, puisqu'aucune différence significative n'a été décelée. De plus, aucune différence entre les traitements n'a été observée pour la surface terrière cumulée (arbres coupés et sur pied à 10 ans) de ces bouleaux à papier. Quoique la production ait été comparable entre les traitements, une plus grande proportion de bouleaux à papier de grande qualité a été produite dans les parcelles éclaircies, dans lesquelles les bouleaux à papier de faible qualité ont été prélevés lors de l'éclaircie.

Dans une étude sur le dépérissement du bouleau à papier après la coupe en Mauricie, Roy *et al.* (2001) conseillent de maintenir une surface terrière résiduelle d'au moins 16 m<sup>2</sup>/ha et de préserver les tiges de plus fort diamètre lorsque la coupe a pour objectif de maintenir la vigueur du bouleau à papier pour une récolte future. Dans la présente étude, des surfaces terrières en deçà de 16 m<sup>2</sup>/ha après la coupe ont été obtenues pour l'EC<sub>50</sub> (de 12,1 à 14,7 m<sup>2</sup>/ha). Dans ces parcelles, les bouleaux à papiers ont montré peu de dépérissement après 10 ans; leur vigueur a été maintenue, sinon augmentée, et leur mortalité après 10 ans a varié de 4 à 11 %, ce qui est nettement inférieur à la valeur de 29 % prédite par Roy

*et al.* (2001). Ces différences peuvent provenir du fait que les bouleaux à papier laissés sur pied après l'éclaircie dans la présente étude étaient vigoureux et présentaient peu de défauts, puisque le but de l'étude était de favoriser la croissance et la qualité des bouleaux résiduels. À l'opposé, Roy *et al.* (2001) ont étudié des peuplements mixtes dans lesquels une coupe de régénération avait été pratiquée afin de récolter les résineux en laissant sur pied les bouleaux à papier. De plus, dans la présente étude, la machinerie n'a pas circulé à l'intérieur des parcelles, et n'a donc pas causé de blessures aux arbres résiduels.

### 3.4 Branches adventives

La production de branches adventives a été minime entre la 3<sup>e</sup> et la 10<sup>e</sup> année après la coupe. La perte de qualité des billes de sciage, qui aurait pu survenir avec le développement de branches adventives après une coupe partielle qui a prélevé jusqu'à 50 % de la surface terrière, ne s'est pas avérée. De la même manière, Graham (1998) n'a observé aucun développement de branches adventives basses chez le bouleau à papier, 20 ans après avoir pratiqué des éclaircies de forte intensité dans une bétulaie de 44 ans en Alaska. Pourtant, le bouleau à papier est reconnu pour sa capacité à développer des branches adventives à la suite d'une coupe (Hutnik et Cunningham 1961). Il faut noter que les observations de la présente étude ont été réalisées à la 3<sup>e</sup> année suivant la coupe, et non dès la première année. Il est possible que les branches adventives se soient formées surtout durant ces premières années, comme cela a été observé chez d'autres espèces (Miller 1996).

### 3.5 Armillaire

Dix ans après la coupe, des sporophores d'armillaire ont été observés sur un peu plus de la moitié des souches de bouleaux à papier abattus. Il est fort probable que toutes les souches de bouleaux à papier aient été colonisées par l'armillaire dès le début et que 10 ans plus tard, le portrait de la présence des sporophores sous-estime la colonisation par l'armillaire. D'ailleurs, les résultats montrent que la proportion de souches avec sporophores d'armillaire, 10 ans après la coupe, augmente avec leur grosseur. Cela pourrait s'expliquer par l'épuisement progressif des ressources, plus rapide pour les petites souches que pour les plus grosses.

L'armillaire était omniprésent, autant dans les parcelles témoins que les parcelles éclaircies. Cependant, la population d'armillaire est devenue plus abondante après éclaircie, puisque les souches

des arbres abattus lui offraient une façon idéale de se propager (Stanosz et Patton 1990). Cette infection accrue des arbres résiduels à la suite de coupes partielles est bien documentée chez les conifères (Morrison et Mallett 1996, Morrison *et al.* 2001). Les résultats de la présente étude suggèrent que plus les bouleaux à papier prélevés lors d'une coupe partielle seront gros, plus la population d'armillaire perdurera, et plus les arbres résiduels seront à risque d'être infectés. Afin de minimiser les effets de l'armillaire sur le peuplement résiduel, l'éclaircie dans ces bétulaies devrait se pratiquer alors que les arbres sont encore jeunes, lorsque la coupe génère peu ou pas de grosses souches. Dans les bétulaies plus âgées, le prélèvement d'un faible nombre de gros bouleaux lors de l'éclaircie pourrait aussi minimiser les dommages causés par l'armillaire sur les bouleaux à papier résiduels. Dans un scénario de sylviculture intensive, l'armillaire pourrait être contrôlée par l'enlèvement ou la destruction partielle des grosses souches (Vasaitis *et al.* 2008).

### 3.6 Considérations sylvicoles

Le sylviculteur qui choisirait de continuer à laisser croître cette bétulaie pendant encore une trentaine d'années devrait avoir comme objectif, entre autres, l'augmentation du nombre de bouleaux à papier de qualité de sciage A et B (tiges de DHP  $\geq 33,1$  cm et exemptes de défauts majeurs). Au départ, une trentaine de bouleaux à papier à l'hectare avaient ces dimensions, soit à peine 5 % des bouleaux à papier. De ce nombre, à peine 4/ha étaient de qualité A ou B, car beaucoup des gros bouleaux à papier dominants étaient déclassés par des fentes, des nœuds et des charbons. Ces gros bouleaux ont développé de grosses branches et ont davantage été exposés aux intempéries, ce qui a contribué à diminuer la qualité de leur fût. En revanche, il y avait quelque 140 bouleaux à papier/ha qui présentaient des DHP de 23,1 à 33,0 cm, et qui n'avaient les dimensions que pour être classés au mieux de qualité C. De ce nombre, 35 bouleaux à papier/ha avaient des DHP  $\geq 29,1$  cm; une décennie ou deux suffiraient à ces derniers pour atteindre les dimensions minimales de la classe B de sciage, soit une fois et demie de plus que ce que la bétulaie contenait après 100 années d'existence. De plus, ces bouleaux à papier dominants et codominants de DHP de 23,1 à 33,0 cm ont une probabilité plus grande d'accéder aux classes de qualité A ou B lorsqu'ils atteindront les dimensions minimales de ces classes de qualité, car ils ont été moins exposés aux intempéries en poussant sous le couvert des plus gros arbres, et leur fût s'est élagué naturellement plus tôt. En ce sens, dans le

but de maximiser la récolte de bois de haute qualité, il semble avantageux de laisser cette bétulaie poursuivre sa croissance encore quelques décennies.

Après seulement une décennie, l'éclaircie de moyenne intensité ( $EC_{35}$ ), lors de laquelle 35 % du VMB a été prélevé, semble un peu plus avantageuse que celle de forte intensité ( $EC_{50}$ ), lors de laquelle 50 % du VMB a été prélevé, ou que le Témoin (aucune intervention). En effet, la production nette en surface terrière des arbres de DHP  $\geq 23,1$  cm de l' $EC_{35}$  a été un peu supérieure ou égale à celle des deux autres traitements, et ce, pour chacune des structures diamétrales. La croissance en diamètre des bouleaux à papier de DHP de 30 cm a été plus forte pour l' $EC_{35}$  que pour le Témoin, et au moins aussi bonne que pour l' $EC_{50}$ . Après seulement une décennie, les parcelles de l' $EC_{35}$  contiennent plus de bouleaux à papier de DHP  $\geq 33,1$  cm qu'avant la coupe, alors que pour l' $EC_{50}$ , un déficit persiste. Même si les parcelles du Témoin contiennent un nombre un peu plus grand de bouleaux à papier de DHP  $\geq 33,1$  cm après une décennie, la proportion en bouleaux à papier de qualité A ou B y est beaucoup plus faible que pour l' $EC_{35}$ .

En plus d'augmenter la production de bois de plus grosses dimensions, l'éclaircie a permis d'enlever les espèces non désirées. Dans cette bétulaie, tous les peupliers faux-trembles de DHP  $> 9$  cm ont été récoltés lors de l'éclaircie. De nombreux drageons étaient présents 10 ans après la coupe, en particulier pour l' $EC_{50}$ , mais déjà plusieurs étaient morts. Avec le temps, une proportion importante des drageons devraient mourir, parce que bon nombre croissent sous le couvert d'autres arbres, des conditions limitantes de lumière. Ainsi, lors de la coupe finale, le problème de l'envahissement par drageonnement du peuplier, qui est le compétiteur le plus important du bouleau à papier, sera pratiquement éliminé dans le nouveau peuplement en régénération. La situation aurait été différente si une coupe totale avait été pratiquée au lieu d'une éclaircie. En ce sens aussi, l' $EC_{35}$  est plus avantageuse que l' $EC_{50}$ , puisqu'elle offre un couvert partiel plus dense.

Après une décennie, laisser croître la bétulaie pour encore quelques décennies paraît comme une avenue sylvicole valable, différente de la coupe totale, dans cette bétulaie de 100 ans. La quantité de bouleaux à papier exempts de défauts majeurs de DHP  $\geq 28$  cm est déterminante pour le choix d'une telle option, car le but de retarder la coupe de régénération de cette bétulaie est de produire des

arbres de qualité A ou B de sciage ou de déroulage. Si de tels arbres ne sont pas assez nombreux, l'éclaircie n'est pas conseillée. La mortalité ou la dégradation des bouleaux qui sont ou qui deviendront de qualité A ou B reste un enjeu majeur pour cette avenue sylvicole. Pour l'instant, les résultats décennaux montrent une mortalité presque nulle chez les bouleaux à papier de DHP  $\geq 33$  cm après éclaircie. De plus, l'ouverture du couvert n'a pas induit le développement de branches adventives qui auraient réduit la qualité des bouleaux à papier. La proportion du cœur rouge des bouleaux à papier risque d'augmenter avec le temps, ce qui aura comme conséquence de diminuer la valeur des bois de sciage (Drouin *et al.* 2010, Giroud *et al.* 2008). À la fin de la révolution, il restera à déterminer lequel des traitements d'éclaircie aura généré le plus grand volume de bois de sciage de grande qualité. Après une décennie, l' $EC_{35}$  semble présenter un léger avantage.

Si l'aménagiste désire poursuivre la production de bouleaux à papier sur cette station, la coupe de régénération suivie d'un scénario d'aménagement intensif du bouleau à papier demeure une avenue sylvicole valable pour l'aménagement de ces bétulaies âgées avec peupliers. En effet, il est envisageable d'obtenir, 30 ans après une telle coupe, une cohorte de bouleaux à papier de DHP de 25-30 cm avec un fût droit et exempt de défauts, et vers 70-80 ans, près d'une cinquantaine de bouleaux à papier de DHP de 40 cm et plus (Godbout 2019b). L'éclaircie précommerciale et le contrôle des drageons de peuplier seront toutefois nécessaires pour y arriver. En contrepartie, s'il choisit l'éclaircie, l'aménagiste capitalise sur la qualité des bouleaux à papier déjà présents dans le peuplement et retarde de 30 ans la régénération du peuplement, tout en minimisant l'envahissement par le peuplier après la coupe.

À partir des résultats de cette étude, il ne faut pas conclure que les éclaircies doivent se pratiquer à un âge avancé dans les bétulaies à bouleaux à papier, bien au contraire. Comme la croissance en diamètre culmine très tôt dans la vie du bouleau à papier et qu'elle ne cesse de diminuer par la suite, les interventions sylvicoles devraient être concentrées en bas âge afin d'exploiter au maximum le potentiel de croissance de cette espèce (Godbout 2019c, Rytter et Werner 2007). Plus les interventions favoriseront la croissance du bouleau à papier en bas âge, plus on pourra espérer obtenir de gros diamètres dans un laps de temps relativement court.

## Conclusion

En laissant croître encore quelques décennies les bétulaies comme celle de notre étude, plusieurs dizaines de bouleaux à papier à l'hectare de déroulage et de sciage de haute qualité pourront vraisemblablement être produits. Sans éclaircie, la production de ces bouleaux de haute qualité serait moindre. Il est conseillé de pratiquer une éclaircie dans des bétulaies âgées seulement si la quantité de bouleaux à papier résiduels exempts de défauts majeurs dans la classe de DHP de 28 à 38 cm est suffisante pour générer un nombre adéquat de bouleaux de déroulage et augmenter de

façon importante le nombre de bouleaux de sciage de qualité A ou B. Il est suggéré de pratiquer une éclaircie qui prélève environ 35 % du volume et laisse environ 16 à 18 m<sup>2</sup>/ha de surface terrière résiduelle. L'éclaircie ne devrait prélever aucun bouleau à papier de qualité B de DHP de 33 à 38 cm, ni de bouleau à papier de DHP de 28 à 32 cm ayant le potentiel d'être classé de qualité B lorsqu'il atteindra un DHP de 33 cm. Elle devrait aussi viser à prélever tous les peupliers de DHP > 9 cm afin de diminuer autant que possible l'envahissement par cette espèce après la coupe finale.



## Références bibliographiques

- [BFEC] Bureau du forestier en chef, 2019. *Détermination 2018-2023*. Gouvernement du Québec, Bureau du forestier en chef. Synthèse provinciale. Mise à jour — Novembre 2019. 6 p. [https://forestierenchef.gouv.qc.ca/wp-content/uploads/2019/11/rxx\\_synthese\\_provinciale\\_nov\\_2019.pdf](https://forestierenchef.gouv.qc.ca/wp-content/uploads/2019/11/rxx_synthese_provinciale_nov_2019.pdf)
- Damman, A.W.H., 1964. *Some forest types of central Newfoundland and their relation to environmental factors*. For. Sci. 10(suppl. 3): 1-62.
- Dana, S.T., 1909. *Paper birch in the Northeast*. U.S.D.A. Forest Service, Circular n° 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. <https://doi.org/10.13073/0015-7473-60.3.236>
- 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). Station Paper NE-112. 22 p. [http://www.nrs.fs.fed.us/pubs/sp/sp\\_ne112.pdf](http://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. <https://doi.org/10.1139/X08-043>
- 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 n° 133. 10 p. <https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Godbout-Christian/Note133.pdf>
- Godbout, C., 2019a. *Coulures au pied du bouleau à papier : symptôme causé par la maladie du pourridié-agaric*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Avis technique SSRF-14. 19 p. <https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/recherche/AT-SSRF-14.pdf>
- Godbout, C., 2019b. *Proposition d'un calendrier d'éclaircies pour la production de bouleaux à papier de gros diamètres*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Avis technique SSRF-15. 23 p. [https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/recherche/AT\\_SSRF-15.pdf](https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/recherche/AT_SSRF-15.pdf)
- Godbout, C., 2019c. *Mieux vaut éclaircir le bouleau à papier en bas âge!* Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Avis de recherche forestière n° 118. 2 p. <https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/recherche/Avis118.pdf>
- Gosselin, J., 2002. *Guide de reconnaissance des types écologiques des régions écologiques 4b — Coteaux du réservoir Cabonga et 4c — Collines du Moyen-Saint-Maurice*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction des inventaires forestiers. 177 p. <https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/guide-ecologique-4bc.pdf>
- Graham, J.S., 1998. *Thinning increases diameter growth of paper birch in the Susitna Valley, Alaska: 20 year results*. North. J. Appl. For. 15(3): 113-115. <https://doi.org/10.1093/njaf/15.3.113>
- Hall, R.C., 1933. *Post-logging decadence in northern hardwoods*. University of Michigan, School of Forestry and Conservation, Bulletin n° 3. 63 p.
- Hara, T., 1985. *A model for mortality in a self-thinning plant population*. Ann. Bot. 55(5): 667-674. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a086945>
- Hutnik, R.J. et F.E. Cunningham, 1961. *Silvical characteristics of paper birch (Betula papyrifera)*. U.S.D.A., Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. Upper Darby, PA (États-Unis). Station Paper NE-141. 24 p. [https://www.nrs.fs.fed.us/pubs/sp/sp\\_ne141.pdf](https://www.nrs.fs.fed.us/pubs/sp/sp_ne141.pdf)
- Jensen, V.S., 1940. *Results of thinning and its effect on residual yellow birch and associated hardwoods species*. U.S.D.A., Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. New Haven, CT (États-Unis). Technical Note 33. 4 p.

- Leak, W.B., 2015. *Dominant-tree thinning in New England northern hardwoods—a second look*. U.S.D.A., Forest Service, Northern Research Station. Newtown Square, PA (États-Unis). Research Note NRS-201. 3 p. [https://www.fs.fed.us/nrs/pubs/rn/rn\\_nrs201.pdf](https://www.fs.fed.us/nrs/pubs/rn/rn_nrs201.pdf)
- Marquis, D.A. et R.L. Ernst, 1991. *The effects of stand structure after thinning on the growth of an Allegheny hardwood stand*. For. Sci. 37(4): 1182-1200.
- 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. [http://www.fs.fed.us/ne/newtown\\_square/publications/research\\_papers/pdfs/scanned/OCR/ne\\_rp130.pdf](http://www.fs.fed.us/ne/newtown_square/publications/research_papers/pdfs/scanned/OCR/ne_rp130.pdf)
- [MFFP] Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, 2014. *Classification des tiges d'essences feuillues. Normes techniques*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction des inventaires forestiers. 98 p.
- Miller, G.W., 1996. *Epicormic branching on central Appalachian hardwoods 10 years after deferment cutting*. U.S.D.A., Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. Radnor, PA (États-Unis). Research Paper NE-702. 9 p. [https://www.fs.fed.us/ne/newtown\\_square/publications/research\\_papers/pdfs/scanned/OCR/ne\\_rp702.pdf](https://www.fs.fed.us/ne/newtown_square/publications/research_papers/pdfs/scanned/OCR/ne_rp702.pdf)
- Morrison, D.J. et K.I. Mallett, 1996. *Silvicultural management of armillaria root disease in western Canadian forests*. Can. J. Plant Pathol. 18(2): 194-199. <https://doi.org/10.1080/07060669609500645>
- Morrison, D.J., K.W. Pellow, A.F.L. Nemeč, 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(1): 59-70. <https://doi.org/10.1139/x00-144>
- [MRN] Ministère des Ressources naturelles, 1995. *Classification des tiges d'essences feuillues. Normes techniques*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction des inventaires forestiers. 73 p.
- [MRNF] Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 2004. *Ressources et industries forestières. Portrait statistique, édition 2004*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction du développement de l'industrie des produits forestiers. 470 p. <https://mffp.gouv.qc.ca/wp-content/uploads/Complete2004.pdf>
- [MRNF] Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 2009. *Normes de cartographie écoforestière. Troisième inventaire écoforestier*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction des inventaires forestiers. 95 p. <https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/norme-cartographie-ecoforestiere.pdf>
- Oliver, C.D. et B.C. Larson, 1996. *Forest stand dynamics (Updated edition)*. John Wiley & Sons Inc., New York, NY (États-Unis). 520 p.
- Perron, J.-Y., 2003. *Tarif de cubage général. Volume marchand brut. 3<sup>e</sup> publication*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction des inventaires forestiers. 53 p. <https://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, Victoria, BC. FRDA Report n° 271. 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. 183 p. <ftp://transfert.mern.gouv.qc.ca/public/Biblio/Mono/2014/05/1152185.pdf>
- Robitaille, A. et J.-P. Saucier, 1998. *Paysages régionaux du Québec méridional*. Les Publications du Québec, Québec, QC. 213 p.
- 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. <https://doi.org/10.5558/tfc77509-3>

- 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*. CERFO. Rapport 2012-14. 93 p. [http://cerfo.qc.ca/wp-content/uploads/2019/09/Rapport\\_final\\_CERFO\\_2012-14.pdf](http://cerfo.qc.ca/wp-content/uploads/2019/09/Rapport_final_CERFO_2012-14.pdf)
- Rytter, L. et M. Werner, 2007. *Influence of early thinning in broadleaved stands on development of remaining stems*. Scand. J. For. Res. 22(3): 198-210. <https://doi.org/10.1080/02827580701233494>
- 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.srs.fs.usda.gov/pubs/misc/ag\\_654/volume\\_2/betula/papyrifera.htm](https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/misc/ag_654/volume_2/betula/papyrifera.htm)
- Safford, L.O., J.C. Bjorkbom et J.C. Zasada, 1990. « *Betula papyrifera* Marsh. » Dans : Burns, R.M. et B.H. Honkala (éds.), *Silvics of North America, Vol. 2, Hardwoods*. U.S.D.A., Forest Service. Washington, DC (États-Unis). p. 158-171. <https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/1548>
- Shigo, A.L., 1969. « Diseases of birch » Dans : Doolittle, W.T. et P.E. Bruns (éds.), *Birch symposium proceedings*. 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](https://www.fs.fed.us/nrs/pubs/other/1969/1969_birch-symposium-papers/21_1969-birch_shigo_p147-150.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](https://www.fs.fed.us/ne/newtown_square/publications/research_papers/pdfs/scanned/OCR/ne_rp362.pdf)
- Spaulding, P. et H.J. MacAloney, 1931. *A study of organic factors concerned in the decadence of birch on cut-over lands in northern New England*. J. For. 29(8): 1134-1149.
- Stanosz, G.R. et R.F. Patton, 1990. *Stump colonization by Armillaria in Wisconsin aspen stands following clearcutting*. Eur. J. For. Pathol. 20(6-7): 339-346. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.1990.tb01146.x>
- Sutton, A. et J. Tardif, 2005. *Distribution and anatomical characteristics of white rings in Populus tremuloides*. IAWA Journal 26(2): 221-238. <http://ion.uwinnipeg.ca/~jtardif/IMAGES/2005IAWAJ.pdf>
- Vasaitis, R., J. Stenlid, I.M. Thomsen, P. Barklund et A. Dahlberg, 2008. *Stump removal to control root rot in forest stands. A literature study*. Silva Fenn. 42(3): 457-483. <https://doi.org/10.14214/sf.249>
- Yarranton, M. et G.A. Yarranton, 1975. *Demography of a jack pine stand*. Can. J. Bot. 53(3): 310-314. <https://doi.org/10.1139/b75-039>



## Annexes

**Annexe 1.** Régression linéaire entre le DHP du bouleau à papier après la coupe et l'accroissement en diamètre pour la décennie suivant la coupe.

**Tableau A1.** Test pour déterminer si la pente de la régression linéaire est différente de zéro pour chacune des 9 parcelles.

Traitement	Structure diamétrale	Valeur estimée	Erreur type	Degrés de liberté	Valeur de t	Prob. > t
Témoïn	Petit bois	0,094	0,011	164	8,33	< 0,001
	Moyen bois	0,094	0,011	130	8,44	< 0,001
	Gros bois	0,045	0,009	99	5,11	< 0,001
EC <sub>35</sub>	Petit bois	0,106	0,017	161	6,4	< 0,001
	Moyen bois	0,115	0,013	125	9,06	< 0,001
	Gros bois	0,036	0,018	70	1,97	0,053
EC <sub>50</sub>	Petit bois	0,102	0,020	112	5,06	< 0,001
	Moyen bois	0,033	0,017	65	1,91	0,060
	Gros bois	-0,011	0,018	51	-0,64	0,523

**Annexe 2.** Analyse de l'effet du traitement et du DHP immédiatement après la coupe sur l'accroissement en diamètre du bouleau à papier pour la décennie suivant la coupe.

**Tableau A2.** Sommaire de l'analyse de variance

Source de variation	Degrés de liberté au numérateur	Degrés de liberté au dénominateur	Valeur de F	Prob. > F
Traitement	2	15,5	9,80	0,002
DHP	1	962	182,34	< 0,001
DHP × Traitement	2	905	6,91	0,001

**Tableau A3.** Comparaisons multiples de l'effet des traitements sur l'accroissement décennal en diamètre pour deux grosseurs de bouleau à papier (DHP de 15 cm et de 30 cm).

DHP	Traitements comparés*	Valeur estimée	Erreur type	Degrés de liberté	Valeur de t	Prob. > t	Prob. ajustée
15 cm	EC <sub>35</sub> et EC <sub>50</sub>	-0,548	0,248	4,76	-2,21	0,08	0,12
	Témoïn et EC <sub>35</sub>	0,388	0,241	4,33	1,61	0,18	0,29
	Témoïn et EC <sub>50</sub>	0,937	0,245	4,58	3,83	0,01	0,01
30 cm	EC <sub>35</sub> et EC <sub>50</sub>	0,178	0,269	6,69	0,66	0,53	0,79
	Témoïn et EC <sub>35</sub>	0,638	0,255	5,46	2,50	0,05	0,08
	Témoïn et EC <sub>50</sub>	0,460	0,263	6,14	1,75	0,13	0,24

\* EC<sub>35</sub> : éclaircie de moyenne intensité; EC<sub>50</sub> : éclaircie de forte intensité.

**Annexe 3. Production (m<sup>2</sup>/ha) du bouleau à papier de DHP ≥ 23,1 cm pour la décennie suivant la coupe****Tableau A4. Sommaire de l'analyse de variance**

Composante du bilan de production	Source de variation	Degrés de liberté au numérateur	Degrés de liberté au dénominateur	Valeur de F	Prob. > F
PROD <sub>nette</sub>	Traitement	2	4	1,85	0,27
ACC SURV	Traitement	2	3,5	4,75	0,10
REC	Traitement	2	4	0,24	0,80
MORT	Traitement	2	4	17,02	0,01

PROD<sub>nette</sub> : production; ACC SURV : production par accroissement des survivants; REC : recrutement; MORT : mortalité

**Tableau A5. Comparaison des moyennes par traitement pour la mortalité (m<sup>2</sup>/ha) des bouleaux à papier de DHP ≥ 23,1 cm.**

Production	Traitement	Valeur estimée	Erreur type	Degrés de liberté	Valeur de t	Prob. > t
MORT	EC <sub>35</sub>	0,233	0,166	2,93	1,41	0,26
	EC <sub>50</sub>	0,333	0,166	2,93	2,01	0,14
	Témoin	0,900	0,166	2,93	5,44	0,01

MORT : mortalité; EC<sub>35</sub> : éclaircie de moyenne intensité; EC<sub>50</sub> : éclaircie de forte intensité

# Planches

**Planche 1.** Illustration du peuplement en période de feuillaison (Photos : C. Godbout)



Portion intacte de la bétulaie; structure de Petit bois



Après éclaircie; structure de moyen bois



Un groupe de gros bouleaux à papier dans la parcelle témoin à structure de Gros bois

**Planche 2.** Illustration du peuplement avant la feuillaison, 10 ans après la coupe (Photos : C. Godbout)



Portion intacte de la bétulaie; structure de Petit bois.



Parcelle témoin à structure de Gros bois



Parcelle EC<sub>35</sub> à structure de Moyen bois



Parcelle EC<sub>50</sub> à structure de Moyen bois

**Planche 3.** Illustration de la densité du couvert 10 ans après la coupe, selon les traitements (Photos : C. Godbout)



Témoin



Éclaircie de moyenne intensité (EC<sub>36</sub>)



Éclaircie de forte intensité (EC<sub>50</sub>)

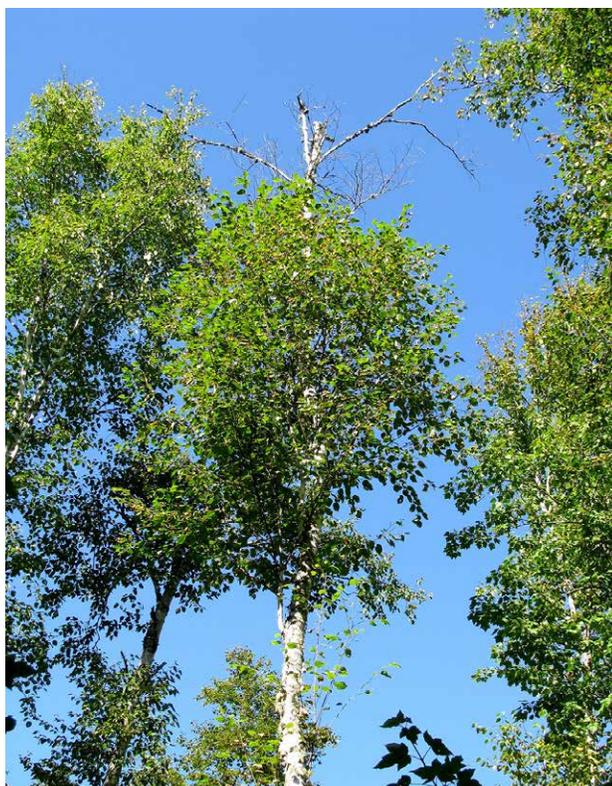
**Planche 4.** Illustrations du dépérissement du houppier chez le bouleau à papier (Photos : C. Godbout)



Mortalité des ramilles au sommet du houppier  
(début de dépérissement)



Houppier dépérissant avec perte de feuilles généralisée



Mort du houppier d'origine et formation d'un nouveau houppier



Formation de branches adventives sous le houppier  
après éclaircie

**Planche 5.** Illustration du passage du feu et de la pierrosité du sol (Photos : C. Godbout)



Souche de pin blanc avec des portions de bois calciné indiquant le passage du feu

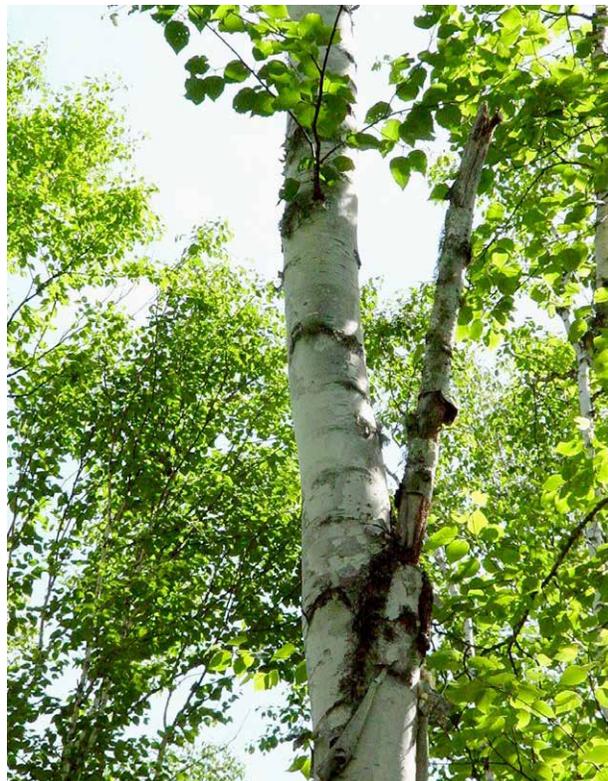


Renversé révélant la forte pierrosité du sol

**Planche 6.** Exemples de défauts chez le bouleau à papier (Photos : C. Godbout)



Les fentes constituent le défaut le plus fréquent après les noeuds et les courbures



Une ancienne fourche morte constitue une porte d'entrée pour la carie



De l'écorce morte peut souvent être observée du côté interne d'un groupe



Trous causés par un oiseau (pic maculé) et qui nuisent à la circulation de la sève

**Planche 7.** Sporophores d'armillaire sur une souche de bouleau à papier, un an après la coupe (Photos : C. Godbout)





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 100 ans située près de La Tuque, en Mauricie.