



**COLLECTIF RÉGIONAL
DE DÉVELOPPEMENT
DU BAS-SAINT-LAURENT**

DEUXIÈME ÉCLAIRCIE COMMERCIALE MÉCANISÉE EN PLANTATION D'ÉPINETTE BLANCHE :

CARACTÉRISTIQUES DENDROMÉTRIQUES, PANIER DE PRODUITS, PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES ET COÛTS DE RÉCOLTE

Laurent Gagné, biol., M. Sc. F.

Février 2019



TABLE DES MATIÈRES

<i>Table des matières</i>	<i>i</i>
<i>Liste des tableaux</i>	<i>iii</i>
<i>Liste des figures</i>	<i>iv</i>
<i>Liste des sigles et acronymes</i>	<i>5</i>
<i>source de financement</i>	<i>6</i>
<i>Remerciements</i>	<i>6</i>
<i>Résumé</i>	<i>7</i>
<i>Introduction</i>	<i>7</i>
<i>Méthodologie</i>	<i>10</i>
▪ Localisation du site et inventaire forestier.....	10
▪ Modalités d'éclaircie et martelage.....	12
▪ Choix des arbres-études pour le panier de produits, propriétés mécaniques du bois et séchage...	12
▪ Étude de temps et mouvement.....	14
<i>Analyses statistiques</i>	<i>15</i>
▪ Caractéristiques du peuplement avant et après éclaircie.....	15
▪ Dendrométrie.....	15
▪ Panier de produits.....	15
▪ Séchage et propriétés mécaniques du bois d'épinette blanche.....	15
▪ Coûts de récolte et de débardage.....	16
<i>Résultats et discussion</i>	<i>16</i>
▪ Caractéristiques du peuplement avant et après éclaircie.....	16
▪ Dendrométrie.....	21
▪ Panier de produits.....	23
▪ Séchage.....	28
▪ Propriétés mécaniques du bois d'épinette blanche.....	30
▪ Coûts de récolte et de débardage.....	31
<i>Conclusion</i>	<i>34</i>
<i>Références</i>	<i>35</i>
<i>Annexe 1 – Modèle d'abatteuse-façonneuse</i>	<i>I</i>
<i>Annexe 2 – Prescription sylvicole et directives de martelage pour l'éclaircie neutre par dégage-ment d'arbres élites</i>	<i>II</i>
<i>Annexe 3 – Prescription sylvicole et directives de martelage pour l'éclaircie par le bas avec espacement</i>	<i>VII</i>
<i>Annexe 4 – Liste de prix de vente utilisée pour le calcul des rendements en fonction des longueurs nominales, dimensions originales, des classes de dimension et des qualités</i>	<i>XI</i>
<i>Annexe 5 – Types de déformations lors du séchage</i>	<i>XII</i>
<i>Annexe 6 – Étapes de séchage en fonction de l'humidité, de la température et du temps</i>	<i>XIII</i>



Annexe 7 – Nombre de pmp/ha généré par modalité d'éclaircie et type de pièce pour chaque scénario de simulation de sciage.....XIV

Annexe 8 – Valeur moyenne (\$can2017) des arbres récoltés pour l'analyse du panier de produits par modalité d'éclaircie et par classe de dhp..... XV



LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Nombre d'arbres récoltés par classe de dhp et par modalité d'éclaircie	13
Tableau 2 : Scénarios des produits sciés par simulation de sciage en fonction des procédés de débitage et des modes d'optimisation en valeur et en volume	14
Tableau 3 : Répartition du nombre de pièces destinées au séchage et à l'évaluation des propriétés mécaniques (entre parenthèses) en fonction des types de pièces et de l'origine des arbres-études.....	14
Tableau 4 : Nombre de tiges/ha et proportion par essence avant et après traitement pour la première et la deuxième éclaircie (pour les modalités ecbas et aé200).....	17
Tableau 5 : Rendement moyen en volume et en valeur (\$can2017) par tige, par modalité d'éclaircie et par procédé de débitage.	27
Tableau 6 : Comparaison des principaux indicateurs de qualité du bois en fonction des classes de dhp.	31
Tableau 7 : Critères d'observation et éléments de cycle pour le porteur et par modalité d'éclaircie pour l'abatteuse-façonneuse lors de l'étude de temps et de mouvement	33

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Configuration du peuplement à l'étude et localisation des placettes échantillons, des unités d'échantillonnage pour la récolte des arbres études, des modalités d'éclaircies et des secteurs pour l'étude de temps et de mouvement	11
Figure 2 : Distribution du nombre de tiges par classe de dhp, avant et après la deuxième éclaircie pour aé200 et ecbas	18
Figure 3 : Variation du dhp quadratique, de la surface terrière et du volume avant et après la première éclaircie et comparaison avant et après la deuxième éclaircie pour ecbas et aé200.	20
Figure 4 : Moyenne des courbures, des défilements, des volumes réels sous écorce et des volumes de sciage par classe de diamètre à hauteur de poitrine (dhp) et par essence pour les arbres récoltés dans aé200, ecbas et témoin.....	23
Figure 5 : Proportion des sciages, des copeaux et des sciures par modalité d'éclaircie et par procédé de débitage	24
Figure 6 : Comparaison de la quantité de pmp/ha moyen et écart-type (barre d'erreur) par classe de longueur (< 8 pi, 8-9 pi, ≥ 10 pi) et par type de pièce (≤ 2x3, 2x4, 2x6) entre chaque modalité d'éclaircie	25
Figure 7 : Comparaison des retraits et déformations (voilements, tirant à cœur et torsion) après séchage entre les types de pièces provenant des arbres récoltés lors de la deuxième éclaircie et provenant des arbres récoltés dans la portion témoin de la plantation.....	29
Figure 8 : Coûts de récolte totaux avec martelage par modalité d'éclaircie et coût pour l'abatteuse-façonneuse et le porteur.....	32

LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

%	Pourcentage
\$can	Dollar canadien
cm	Centimètre
dhp	Diamètre à hauteur de poitrine
dm ³	Décimètre cube
kg/m ³	kilogramme par mètre cube
m	Mètre
m ²	Mètre carré
m ³	Mètre cube
MSR	<i>Mechanical stress-rating lumber</i> / Classification par contrainte mécanique
pmp	Pied mesure planche
TBE	Tordeuse des bourgeons de l'épinette
tma	Tonne métrique anhydre

SOURCE DE FINANCEMENT

Le projet a été rendu possible grâce à la participation financière du programme d'aménagement durable des forêts, volet suprarégional du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs.

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à remercier Monsieur Aziz Laghdir du Service de recherche et d'expertise en transformation des produits forestiers (SEREX), Monsieur Dodick Gasser de l'Université de Moncton, campus d'Edmundston au Nouveau-Brunswick, Monsieur Luc Gagnon et Madame Manon Perreault, du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs ainsi que Madame Marie-Hélène Langis, du Collectif régional de développement du Bas-Saint-Laurent (CRDBSL) pour avoir apporté leurs commentaires sur le rapport. Je tiens également à remercier Madame Brigitte Martin pour la mise en page du document.

Citation complète :

Gagné, L. 2019. Deuxième éclaircie commerciale mécanisée en plantation d'épinette blanche : caractéristiques dendrométriques, panier de produits, propriétés mécaniques et coûts de récolte. Collectif régional de développement du Bas-Saint-Laurent, 56 p.

Le document est disponible sur le site Internet du CRD : www.crdbsl.org

RÉSUMÉ

Plusieurs plantations de la région du Bas-Saint-Laurent ont atteint la surface terrière requise pour la réalisation d'une première éclaircie commerciale au cours des dernières années. Certaines en sont même rendues à la deuxième éclaircie qui est, depuis 2013, appliquée selon deux modalités dans la région : éclaircie par le bas avec espacement et éclaircie neutre par le dégagement d'arbres élites. L'objectif de cette étude est d'évaluer les caractéristiques dendrométriques, le panier de produits, les propriétés mécaniques et les coûts de récolte lors de la deuxième éclaircie commerciale. L'étude s'est déroulée dans une plantation d'épinettes blanches de 1977 dans l'unité d'aménagement 011-71, au Bas-Saint-Laurent. Les résultats obtenus montrent qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux modalités d'éclaircie concernant le prélèvement en surface terrière et en volume, ni pour le dhp quadratique. Les coûts de récolte sont similaires dans les deux modes d'éclaircie et oscille autour de 26 \$/m³. La deuxième éclaircie permet d'avoir un panier de produits assez diversifié pour produire des pièces de charpente (>10 pi de longueur) et une qualité du bois permettant d'atteindre les standards pour le classement MSR. L'industrie du sciage pourrait donc envisager de développer le marché du bois de haute qualité à partir de billes issues de deuxième éclaircie commerciale. D'autres études seront nécessaires afin d'évaluer si les propriétés mécaniques du bois d'épinette blanche continuent de s'améliorer après la deuxième éclaircie.

INTRODUCTION

Le Bas-Saint-Laurent est une région forestière depuis longtemps réputée pour la qualité de ses forêts (Fortin et al. 1993). Celles-ci ont fourni aux usines de transformation des dizaines de millions de mètres cubes et créé plusieurs milliers d'emplois depuis le début de l'industrie de la transformation des bois. Pour soutenir la possibilité forestière, le Bas-Saint-Laurent réalise un aménagement forestier intensif depuis plus de 40 ans, notamment par l'entremise du reboisement. Plus de 450 millions de plants ont été mis en terre entre 1980 et 2012 (MRN 2014).

Aujourd'hui, une proportion croissante de ces plantations est à l'étape d'une première éclaircie commerciale. La première éclaircie est habituellement réalisée lorsque la surface terrière atteint 28 m²/ha, soit vers l'âge de 30 ans dans le cas de l'épinette blanche (MRN 2014). Cette intervention pose plusieurs défis relativement aux coûts de récolte, à la transformation des billes de petits diamètres et à sa faisabilité à grande échelle. Avant 2013, une seule modalité d'éclaircie était appliquée au Québec, soit l'éclaircie par le bas, qui consistait à récolter uniquement les plus petites tiges de la plantation. Depuis 2014, deux nouvelles modalités d'éclaircie sont maintenant appliquées dans la région du Bas-Saint-Laurent : l'éclaircie par le bas avec espacement et l'éclaircie neutre par le dégagement d'arbres élites. Dans le cas de l'éclaircie par le bas avec espacement, elle consiste à prélever les tiges défectueuses ou opprimées dans toutes les classes de diamètre dans le but d'espacer les tiges de façon régulière au sein de la plantation (distribution uniforme).

En ce qui concerne l'éclaircie neutre par le dégagement d'arbres élites, elle vise plutôt à dégager un nombre prédéterminé de tiges élites dans la plantation afin de les laisser libres de croître.

En fonction de ces deux nouvelles modalités d'éclaircie, des études récentes ont démontré que les coûts de la première éclaircie commerciale entièrement mécanisée pouvaient varier de 39 à plus de 50 \$/m³ (Gagné et Lavoie 2014, Gagné et al. 2016), tout en conservant un peuplement résiduel de qualité et en produisant un panier de produits intéressant pour les usines de sciage. Dans l'étude de Gagné et Lavoie 2014, le mode de prélèvement des arbres a été un facteur important pour expliquer les variations dans les coûts de récolte et la qualité du panier de produits.

Parmi les plantations d'épinettes ayant déjà été éclaircies, la plupart devraient l'être une deuxième fois lorsque la plantation aura atteint une surface terrière de 32 m²/ha, soit vers l'âge de 40 ans (MRN 2014). À l'instar de la première éclaircie, la deuxième intervention pose à nouveau un défi de taille. En effet, il existe actuellement peu de connaissances au Québec sur la deuxième éclaircie commerciale, en particulier sur les coûts de récolte. On peut faire le même constat pour le panier de produits et les propriétés mécaniques des bois d'épinettes blanches de deuxième éclaircie, où il y a peu de connaissances dans l'Est canadien, sauf pour l'étude de Gagné et al. (2012). On sait toutefois que les coûts sont inversement proportionnels au volume des tiges récoltées (Eliasson et Lageson 1999, Leroux 2016). La plupart des résultats les plus récents rapportés dans la littérature concernant l'Est canadien, proviennent de plantations d'épinettes blanches au moment de la première éclaircie (Lenz et al. 2012, Gagné et al. 2012, Gagné et Lavoie 2014, Gagné et Lavoie 2016) ou de plantations matures (Duchesne et Tanguay 2011).

La qualité du bois peut être déterminée par différents indicateurs évalués à l'aide de tests de propriétés mécaniques. Ces tests sont importants pour l'industrie du bois d'œuvre, particulièrement pour l'épinette blanche puisque cette essence est fréquemment utilisée au Canada pour la construction résidentielle et commerciale. Le bois d'épinette blanche est considéré de bonne qualité pour différents usages, particulièrement pour le bois de charpente, le colombage et le bois d'ingénierie (Zhang et Koubaa 2009). Les propriétés mécaniques augmentent généralement avec l'âge (Jozsa et Middleton 1997) et dans le cas du bois d'épinette blanche, elles seraient peu influencées par une première éclaircie commerciale mais n'atteignent pas les standards pour le classement MSR (Gagné et al. 2012). L'âge exact à partir duquel les propriétés mécaniques du bois atteignent les standards pour le marché de bois classé MSR¹ n'est pas encore connu, mais d'après Gagné et al. (2016), dans le cas d'épinette blanche, les standards pour le classement MSR seraient atteints vers l'âge de 40ans. Selon les normes de classification américaine NLGA SPS-2 (2013) pour les principales essences résineuses, le module d'élasticité (MOE) doit atteindre 6 784 mégapascals (MPa) et 17,4 MPa pour le module de rupture (MOR).

¹ Le bois classé par contrainte mécanique (MSR) est du bois de résineux dont la résistance est déterminée par des moyens mécaniques plutôt qu'à partir d'indicateurs visuels. Le bois MSR présente donc des caractéristiques de résistance mieux définies.

Pour les épinettes du Québec, la valeur minimale recherchée doit correspondre à un minimum de 10 300 MPa pour le MOE et de 11,4 MPa pour le MOR (Cecobois 2018). Pour la composition du panier de produits, il est actuellement difficile d'identifier le meilleur mode de débitage pour optimiser la transformation des bois de deuxième éclaircie. Pourtant, les plantations d'épinettes occupent une proportion importante des forêts de l'Est canadien. Au Bas-Saint-Laurent uniquement, ce sont plus 94 000 m³ qui sont transformés annuellement en provenance de la forêt publique.

En considérant que les coûts de récolte diminuent avec le volume moyen récolté par tige (Eliasson et Lageson 1999, Leroux 2016) et que le panier de produits ainsi que les propriétés du bois augmentent en qualité avec l'âge du peuplement (Duchesne et Tanguay 2011, Gagné et al. 2012), il est possible d'avancer comme hypothèse que la deuxième éclaircie permettrait d'avoir des coûts de récolte inférieurs à 30 \$/m³, un panier de produits permettant de générer des pièces de charpente >10 pi avec des propriétés mécaniques atteignant les standards pour le classement MSR.

Pour vérifier cette hypothèse, les deux modalités d'éclaircie appliquées au Bas-Saint-Laurent depuis 2014, soient l'éclaircie commerciale par le bas avec espacement (ecbas) et l'éclaircie commerciale neutre avec le dégagement de 200 arbres élités/ha (± 25 arbres élités/ha) (aé200), ont été comparées en fonction de quatre scénarios de débitage :

- i)* colombage optimisé (stud) en valeur;
- ii)* colombage optimisé (stud) en volume;
- iii)* charpente claire de structure optimisée (random) en valeur;
- iv)* charpente claire de structure optimisée (random) en volume.

Les principaux objectifs de cette étude sont :

- i)* Comparer entre les deux modalités d'éclaircie :
 - les caractéristiques dendrométriques des arbres et des peuplements avant et après traitement;
 - la composition du panier de produits ainsi que le rendement en volume et en valeur selon quatre scénarios de débitage;
 - les coûts de récolte/m³;
- ii)* Comparer les types de défauts lors du séchage entre les arbres témoins et éclaircies;
- iii)* Comparer les propriétés mécaniques du bois d'épinette blanche entre les classes de diamètre.

Les résultats de cette étude outilleront les décideurs, les praticiens et les gestionnaires d'usines de transformation dans leurs prises de décision.

MÉTHODOLOGIE

▪ LOCALISATION DU SITE ET INVENTAIRE FORESTIER

L'étude a été réalisée dans une plantation d'épinettes blanches établie en 1977, d'une superficie de 45,3 ha et se trouvant sur le type écologique MS12 dans l'unité d'aménagement 011-71, au Bas-Saint-Laurent. Cette plantation est située en forêt publique sur le territoire faunique de la ZEC Owen, au chantier du ruisseau Beazley. Elle a été traitée une première fois en éclaircie commerciale par le bas en 2008 et en moyenne, 33 % de la surface terrière avait été prélevée (ministère des Ressources naturelles 2008, résultats non publiés). À ce moment, le ministère des Ressources naturelles (MRN) avait réalisé les inventaires forestiers avant et après la première éclaircie dans 31 placettes échantillons circulaires de 5,64 m de rayon (100 m²).

En 2016, l'inventaire avant la deuxième éclaircie a été réalisé par le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) dans 19 placettes échantillons circulaires de 11,28 m de rayon (1/25e ha ou 400 m²), dont deux dans l'éclaircie commerciale neutre avec dégagement de 200 arbres élites/ha (aé200) et 17 dans l'éclaircie commerciale par le bas avec espacement (ecbas) (Figure 1). Les données recueillies sur chacun des arbres dans chaque placette échantillon étaient le diamètre à hauteur de poitrine (dhp) par classe de 2 cm, l'essence, le code de classification MSCR (Boulet 2007) et la classe de vigueur. L'inventaire après intervention a été réalisé dans les mêmes placettes échantillons au printemps 2018 et les mêmes mesures ont été prises. Les blessures aux arbres ont également été notées lors de cet inventaire.

Avec les mesures prises avant et après la deuxième éclaircie, nous avons calculé le pourcentage de prélèvement en surface terrière et en volume/ha, le dhp quadratique, le ratio dhp/hauteur, le nombre de tiges/ha et le volume récolté.

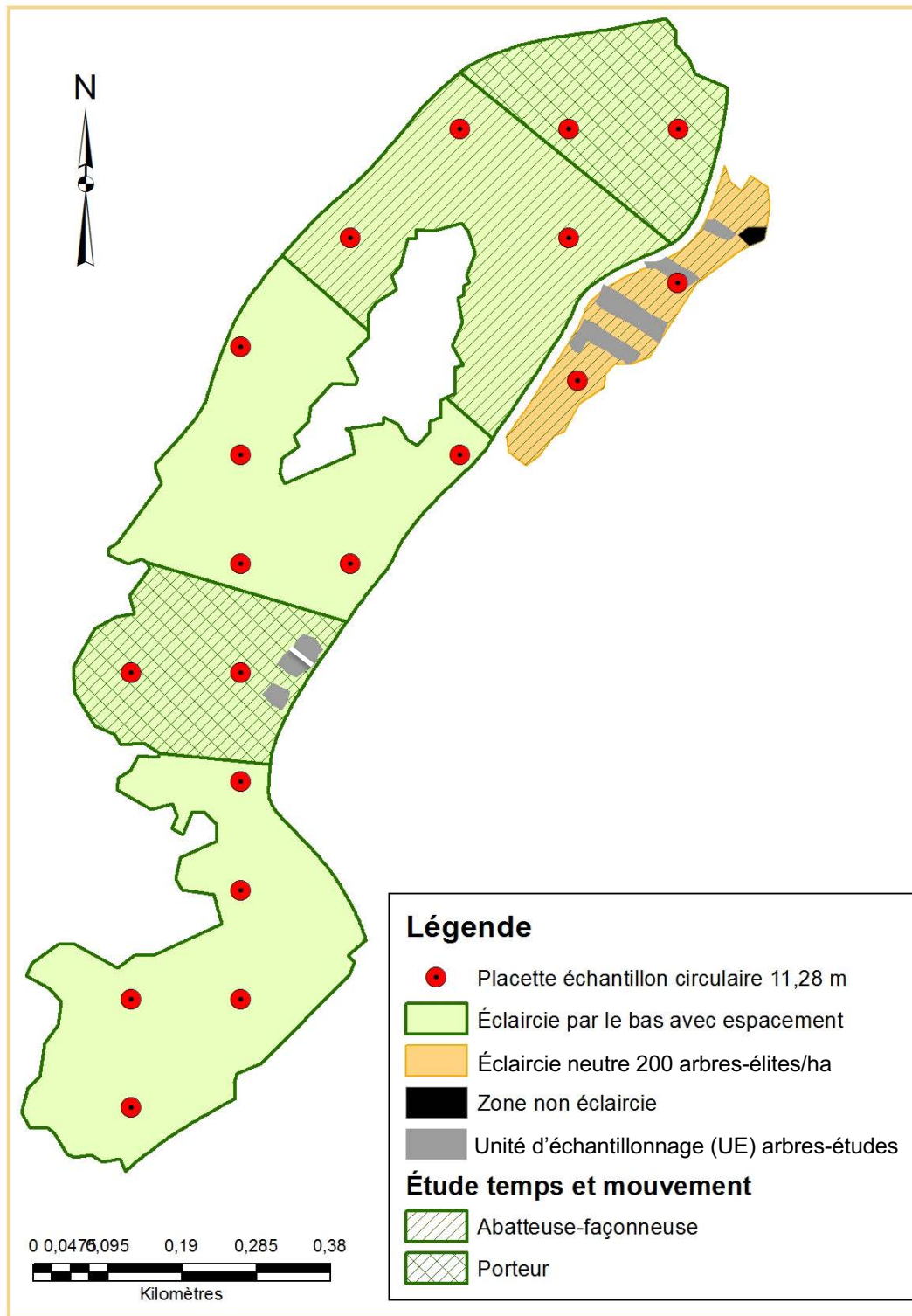


Figure 1 : Configuration du peuplement à l'étude et localisation des placettes échantillons, des unités d'échantillonnage pour la récolte des arbres étudiés, des modalités d'éclaircies et des secteurs pour l'étude de temps et de mouvement

▪ MODALITÉS D'ÉCLAIRCIE ET MARTELAGE

À l'automne 2017, deux modalités d'éclaircie ont été appliquées dans la plantation. Le traitement s'est réalisé sur l'équivalent de 42,1 ha pour l'éclaircie par le bas avec espacement (ecbas) et sur 3,2 ha pour l'éclaircie neutre par le dégagement d'arbres élites (aé200) (Figure 1). La récolte, entièrement mécanisée sur l'ensemble des superficies, a été réalisée à l'aide d'une abatteuse-façonneuse de marque Komatsu 2011, modèle 911.4, tandis que le débardage a été réalisé à l'aide d'un porteur de marque John Deere 2015, modèle 1110 (voir Annexe 1). Un martelage positif² a été réalisé seulement dans l'aé200 pour identifier les arbres élites et leur identification a été réalisée en fonction des critères de qualité décrits dans l'Annexe 2. Pour ecbas, aucun martelage n'a été fait, sauf pour l'identification des arbres-études pour l'évaluation du panier de produits (voir section suivante). Le prélèvement cible était de 25 % de la surface terrière avec une variation de 23 à 29 % pour ecbas et une cible de 30 % avec une variation de 25 à 35 % pour aé200 (Annexes 2 et 3).

▪ CHOIX DES ARBRES-ÉTUDES POUR LE PANIER DE PRODUITS, PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DU BOIS ET SÉCHAGE

Le choix des arbres-études s'est fait dans huit unités d'échantillonnage (UE) localisées aléatoirement et représentatives du peuplement, sur une superficie de 8 000 m², dont 900 m² dans une UE située dans une portion non éclaircie (en 2008) de la plantation³ (Figure 1 et Tableau 1). Pour les deux modalités d'éclaircie, un total de 247 arbres-études dans les classes sociales dominantes et co-dominantes a été récolté et réparti entre ecbas (99), aé200 (118) et témoins (25). Pour la modalité ecbas, le choix s'est fait en fonction des critères de sélection des arbres à récolter décrits dans la prescription sylvicole (Annexe 3). Pour aé200, chacun des arbres élites a été dégagé de deux compétiteurs et identifié selon les critères élaborés dans la prescription sylvicole (Annexe 2).

Une fois les arbres récoltés, l'analyse des arbres-études s'est faite en deux étapes : la numérisation des troncs entiers à l'aide d'un lecteur optique 3D et le débitage d'un échantillon de billes (Annexe 1).

La première étape consistait à numériser les troncs entiers en trois dimensions, avec l'utilisation du logiciel Optitek, pour être tronçonnés virtuellement jusqu'à un diamètre de 4 cm au fin bout en fonction de deux procédés de débitage : charpente claire de structure optimisée (bois long ≥ 10 pi) et colombage optimisé (bois court < 10 pi). Pour chaque procédé de débitage, l'optimisation du sciage a été effectuée selon deux modes, soit en valeur (\$can2017) et en volume, pour un total de quatre scénarios (Tableau 2).

² Le martelage positif a été fait uniquement sur les arbres élites. Pour ecbas, il n'y a pas eu de martelage positif puisque c'est l'opérateur qui décide des tiges à prélever en fonction des critères établis dans la prescription sylvicole (voir Annexe 3).

³ Les arbres-études provenant de la section non éclaircie (en 2008) de la plantation ont été utilisés seulement pour l'étude sur la comparaison des variables dendrométriques et des déformations lors du séchage. Le nombre d'arbres n'était pas suffisant pour le panier de produits et les propriétés mécaniques.

Les simulations à l'aide du logiciel Optitek ont permis d'obtenir les principaux indicateurs-clés de performance par modalité d'éclaircie, notamment le rendement matière, la répartition des pieds mesure planches (pmp) par catégorie de sciage, la proportion des sciures et des copeaux, la courbure, le défilement moyen ainsi que le volume moyen par tige (dm³). Pour le calcul de la valeur du panier de produits, la liste de prix présentée à l'Annexe 4 a été utilisée. Toutes les données générées pour chaque modalité d'éclaircie ont été standardisées (m³, m²/ha, m³/ha, pmp/ha, \$/m³). Les données brutes incluent des pertes dues au rabotage qui sont estimées à 5 % (Sébastien Fillion, communication personnelle, mars 2018).

La deuxième étape consistait à débiter un échantillon de billes provenant de 53 épinettes blanches de 16 à 22 cm, au dhp choisi aléatoirement parmi les 247 arbres-études. Les propriétés mécaniques des bois et les défauts lors du séchage ont été évalués lors de cette étape. À l'aide d'une scierie mobile (Annexe 1), un total de 179 pièces de 2 x 3, 2 x 4 et 2 x 6 a été extrait dans les deux premières billes. Chacune des pièces a ensuite fait l'objet de différentes mesures pour obtenir les données sur les retraits (longueur, largeur) ainsi que sur les déformations (torsion, voilements, tirant à cœur) générées par le processus de séchage (Annexe 5).

Le séchage s'est réalisé selon le programme conventionnel pour l'épinette blanche (Cech et Pfaff 1980, Boone et al. 1993, Zhang et Koubaa 2009) décrit en détail à l'Annexe 6. Les propriétés mécaniques, telles que le module d'élasticité (MOE), le module de rupture (MOR) et la densité basale, ont été mesurées selon la méthode ASTM-198 sur un échantillon de 45 pièces de 2 x 4 (Tableau 3). Pour simplifier les analyses statistiques, les différentes catégories de sciage ont été regroupées par classe de longueurs et de dimensions, en fonction de leur prix sur le marché (Annexe 4). Par ailleurs, seuls les procédés de débitage (colombage optimisé et charpente claire de structure optimisée) ont été pris en compte dans les analyses statistiques, puisqu'il n'y avait pas de différence significative entre les modes d'optimisation. Les modes d'optimisation des scénarios 1 et 2 ont donc été regroupés, tout comme les scénarios 3 et 4.

Tableau 1 : Nombre d'arbres récoltés par classe de dhp et par modalité d'éclaircie

Modalité d'éclaircie	Essence	Nombre de tiges et fourches (f) ² par classe de dhp										Total
		10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	
Aé200	épinettes ¹	3	6	23	21 (2f)	18	18 (1f)	6 (1f)	3 (2f)	1	2 (1f)	101 (7f)
	sapin	6	2	2	3	2	2	4	1	3	3	28
Ecbas	épinettes	7	13	18	11	6 (1f)	4	1	1	0	0	61 (1f)
	sapin	4	5	1	4	3 (1f)	5 (2f)	4	3 (2f)	2	1	32 (5f)
Témoin	épinettes	0	1	2	12	4	4 (2f)	2	0	0	0	25 (2f)
	Total	20	27	46	51	33	33	17	8	6	6	247 (15f)

1 Inclut de l'épinette noire. Cette dernière est incluse dans l'étude du panier de produits, mais pas pour les propriétés mécaniques (MOE, MOR, densité, séchage).

2 Les fourches (f) sont incluses dans le panier de produits et traitées comme une tige.

Tableau 2 : Scénarios des produits sciés par simulation de sciage en fonction des procédés de débitage et des modes d'optimisation en valeur et en volume

Procédés de débitage ¹	Modes d'optimisation	
	Valeur (\$can2017)	Volume (pmp et m ³)
Colombage optimisé (stud)	Scénario 1	Scénario 2
Charpente claire de structure optimisée (random)	Scénario 3	Scénario 4

¹ À postériori, seuls les procédés de débitage ont été considérés dans les analyses statistiques et dans la présentation des résultats.

Tableau 3 : Répartition du nombre de pièces destinées au séchage et à l'évaluation des propriétés mécaniques (entre parenthèses) en fonction des types de pièces et de l'origine des arbres-études

Origine des arbres-études	Types de pièces	Nombre de pièces
Peuplement éclairci	2x3	14
	2x4 et 2x6	133 (45) ¹
	Total partiel	147
Peuplement non éclairci	2x3	9
	2x4 et 2x6	23
	Total partiel	32
Total global		179

¹ Seulement les 2 x 4 ont été utilisés pour les mesures de propriétés mécaniques du bois d'épinette blanche

■ ÉTUDE DE TEMPS ET MOUVEMENT

Pour chacune des modalités d'éclaircie, une étude de temps et mouvement a été menée afin de comparer les coûts de récolte et de débardage. L'étude de temps et mouvement s'est déroulée sur un total de 20,7 heures d'observation, soit 7,1 heures pour la récolte dans ebas, 6,4 heures pour la récolte dans aé200 et 7,2 heures pour le débardage (Figure 1). La méthodologie est adaptée à celle décrite dans Gaudreau (2013) et Gagné et Lavoie (2014).

Pour la récolte, les éléments de cycle pris en compte sont le déplacement, le positionnement de la tête, l'abattage, le façonnage, l'arrangement des piles, le débroussaillage et les délais opérationnels. Le dénombrement des tiges et des billes produites a été réalisé pour chaque cycle. Le mesurage d'un échantillon de billes produites choisi aléatoirement a complété l'observation de productivité. Pour le débardage, les éléments de cycle pris en compte sont le déplacement à vide, le déplacement pendant le chargement, le déplacement en charge, l'arrangement des piles, le déchargement et les délais opérationnels.

ANALYSES STATISTIQUES

■ CARACTÉRISTIQUES DU PEUPEMENT AVANT ET APRÈS ÉCLAIRCIE

Pour les caractéristiques des peuplements, une approche descriptive a été utilisée, ce qui explique l'absence d'analyses statistiques pour le Tableau 4 et la Figure 2. Pour la Figure 3, afin de vérifier s'il y avait des différences significatives entre les éclaircies pour les variables dendrométriques (dhp quadratique, surface terrière et volume/ha) pour une période donnée, des ANOVA mixtes avec l'éclaircie comme facteur fixe et la placette échantillon comme facteur aléatoire ont été réalisés. Dans ce cas, et dans toutes les analyses subséquentes où cela fut requis, la normalité des données a été vérifiée à l'aide du test de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$), alors que l'homoscédasticité et l'indépendance des données ont été appréciées par une analyse visuelle des résidus en fonction des valeurs prédites.

■ DENDROMÉTRIE

Pour les caractéristiques dendrométriques de la Figure 4, une approche descriptive a été utilisée, ce qui explique l'absence d'analyses statistiques.

■ PANIER DE PRODUITS

Pour l'analyse du panier de produits (Figures 5 et 6 et Tableau 5), des ANOVA mixtes avec l'éclaircie (ou le procédé de débitage) et le type de pièce comme facteurs fixes et l'unité d'échantillonnage (UE) comme facteur aléatoire ont été réalisés. Dans le cas des pmp/ha, les données brutes ont été transformées par la fonction log afin de normaliser les données. Le même processus a été réalisé avec les données brutes de la proportion des sciages et co-produits (Figure 5), mais cette fois avec la fonction racine carrée. Lorsque l'ANOVA détectait des différences significatives ($p < 0,05$) entre les moyennes de groupes, les moyennes étaient comparées entre les procédés de débitage ou entre les modalités d'éclaircie à l'aide du test de comparaisons multiples de Tukey.

■ SÉCHAGE ET PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DU BOIS D'ÉPINETTE BLANCHE

Pour le séchage et la qualité du bois (Figure 7 et Tableau 6), des ANOVA mixtes à un ou deux facteurs ont été réalisés. Pour l'ANOVA à un facteur (Tableau 6), le dhp est le facteur fixe tandis que pour les ANOVA mixtes à deux facteurs (Figure 7), le type de pièce et la modalité d'éclaircie sont les facteurs fixes. Dans tous les cas, l'UE a été utilisée comme facteur aléatoire. Les données de retrait (largeur, épaisseur et masse) et les données de voilure et de torsion ne suivaient pas une distribution normale. Les données ont donc été transformées par la fonction racine carrée pour respecter les conditions d'application de l'ANOVA.

▪ COÛTS DE RÉCOLTE ET DE DÉBARDAGE

Pour les coûts de récolte et de débardage de la Figure 8, nous avons utilisé une approche descriptive, ce qui explique l'absence d'analyses statistiques.

Dans le cas où il y a eu des analyses statistiques, celles-ci ont été réalisées avec le logiciel R, version 3.2.4 pour Mac et nous avons utilisé les bibliothèques «nlme» (Pinheiro et al. 2010) et «gmodels» (Warnes et al. 2009) ont été utilisées.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

▪ CARACTÉRISTIQUES DU PEUPEMENT AVANT ET APRÈS ÉCLAIRCIE

L'effet de la première et de la deuxième éclaircie a été remarquable à plusieurs égards. En 2008, le nombre de tiges a diminué en moyenne de 1 616 tiges/ha à 1 040 tiges/ha après une première éclaircie par le bas. La proportion de l'épinette blanche et du sapin a respectivement augmenté de 51 % à 56 % et de 31 % à 33 % (Tableau 4). Le nombre de tiges/ha ainsi que la proportion des essences dans le peuplement, après la première éclaircie et avant la deuxième éclaircie, ne sont pas identiques. Cette observation peut probablement s'expliquer par le fait que la dimension et l'emplacement des placettes échantillons étaient différents entre 2008 et 2016. De plus, en 2008, les arbres de moins de 10 cm au dhp n'ont pas été dénombrés, alors qu'en 2016, la plupart de ces tiges ont franchi le seuil de 10 cm. Ces dernières ont donc été incluses lors des inventaires de la deuxième éclaircie, ce qui a eu pour effet d'augmenter le nombre total de tiges (Tableau 4).

Après la deuxième éclaircie, on retrouve globalement les mêmes proportions de sapins dans les deux modalités d'éclaircies, mais un peu moins d'épinettes dans aé200. L'éclaircie a eu pour effet de modifier la proportion de ces deux principales essences; la proportion de l'épinette blanche a augmenté en moyenne de 4 % et celle du sapin a diminué de 2 % dans aé200, tandis qu'il y a eu une augmentation de 9 % pour l'épinette blanche et une diminution de 9 % pour le sapin dans ecbas.

Les peuplements avant la deuxième éclaircie présentent une structure plutôt équiennne (Figure 2). Par contre, le peuplement traité par aé200 présentait plus de petites tiges par rapport au peuplement traité par ecbas avant l'application de l'éclaircie. Les deux modalités d'éclaircies, l'aé200 et l'ecbas, ont eu pour effet de répartir le nombre d'arbres récoltés dans toutes les classes de diamètres, ce qui s'apparente à une éclaircie neutre (Smith et al. 1997, Kerr et Haufe 2011) (Figure 2). Lorsque plus d'une éclaircie est réalisée, l'éclaircie sélective par le bas appliquée lors du premier passage évolue souvent vers des éclaircies de type neutre par la suite. En effet, les petites tiges malformées deviennent plus rares alors que les dominants et co-dominants composent le peuplement résiduel (Balleux et Ponette 2006).

Pour aé200, on remarque que la structure interne du peuplement semble être un peu plus irrégulière, puisque certaines classes de dhp ont été récoltées plus intensément.

Tableau 4 : Nombre de tiges/ha et proportion par essence avant et après traitement pour la première et la deuxième éclaircie (pour les modalités ecbas et aé200)

Essence	1 ^{re} éclaircie				2 ^e éclaircie							
	Avant ¹		Après		ecbas				aé200			
	tiges/ha	%	tiges/ha	%	tiges/ha	%	tiges/ha	%	tiges/ha	%	tiges/ha	%
Bouleau blanc	7	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Épinette blanche	830	51	578	56	758	59	626	68	788	60	650	64
Épinette noire	58	4	42	4	22	2	15	2	150	14	125	12
Épinette de Norvège	65	4	36	3	59	5	46	5	0	0	0	0
Épinette rouge	42	3	42	4	0	0	0	0	0	0	0	0
Érable rouge	58	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Peuplier faux-tremble	52	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sapin baumier	504	31	342	33	442	34	229	25	338	26	238	24
Total	1616		1040		1288		920		1276		1012	

¹ À partir de 31 placettes échantillons de 100 m² réalisées en 2008 avant et après éclaircie.

² À partir de 19 placettes échantillons de 400 m² dont 17 dans ecbas et 2 dans aé200 réalisées en 2016 (avant) et au printemps 2018 (après). Les changements observés dans le pourcentage entre les périodes avant et après éclaircie pour chaque essence sont présentés en gras.

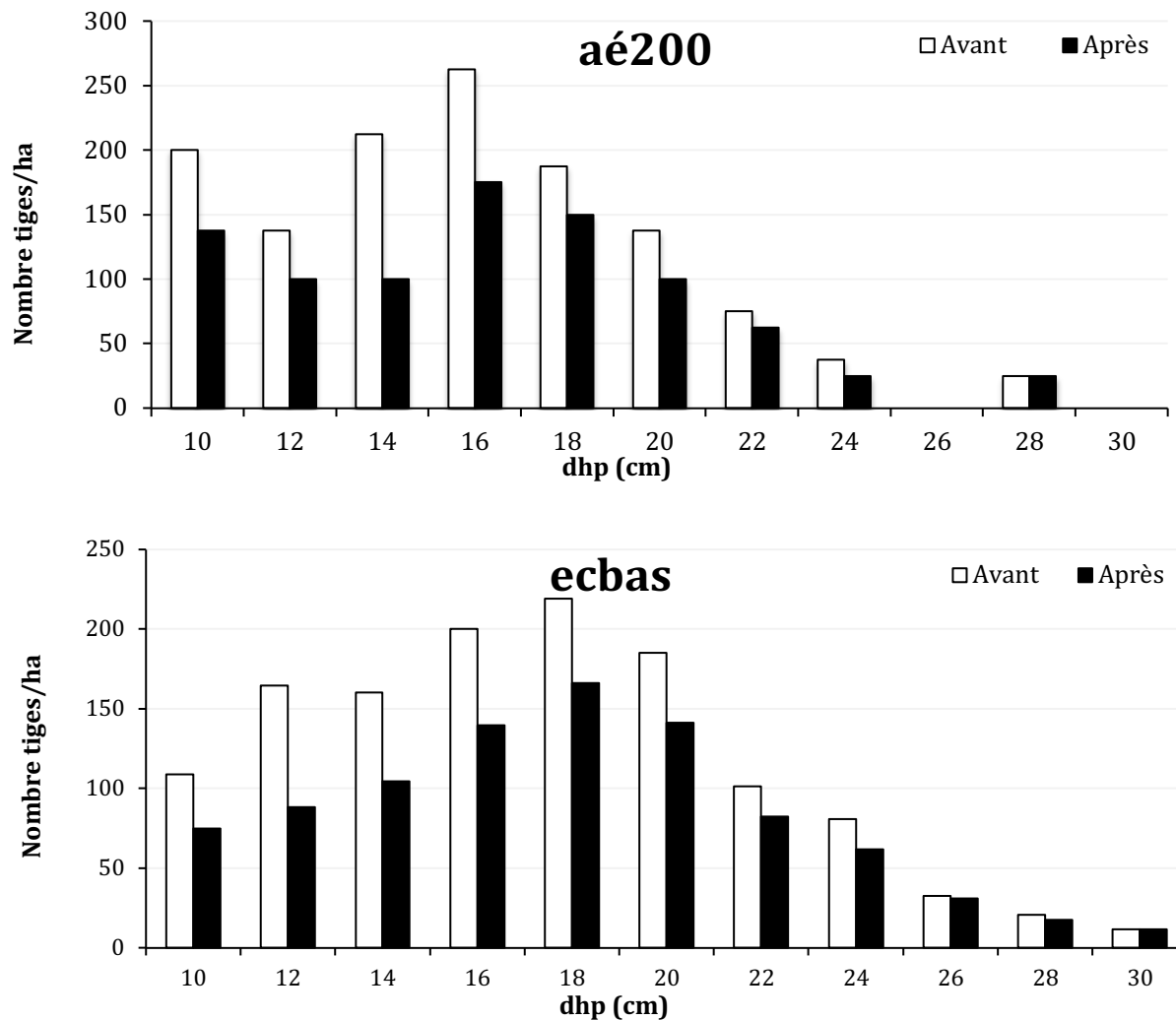


Figure 2 : Distribution du nombre de tiges par classe de dhp, avant et après la deuxième éclaircie pour aé200 et ecbas

Le dhp quadratique moyen a varié à la hausse passant de 14,6 cm après la première éclaircie, à 16,5 cm après la deuxième éclaircie pour aé200 et à 18,0 cm pour ecbas (Figure 3). Cela représente un accroissement annuel périodique moyen variant respectivement de 0,24 à 0,43 cm/an. En 2016, la différence de dhp quadratique moyen avant l'application du traitement n'est pas significative ($p > 0,05$) entre les deux modalités d'éclaircies. Après la récolte en 2017, cet écart s'est légèrement accentué puisqu'il y a eu une baisse du dhp quadratique moyen de 2 % pour aé200 et une hausse de 2 % pour ecbas. Toutefois, cet écart demeure non significatif ($p > 0,05$) (Figure 3a).

Entre 2008 et 2016, la surface terrière a progressé de 9,5 m²/ha pour le peuplement traité par aé200 et de 15,1 m²/ha pour ecbas, pour un accroissement annuel périodique moyen variant de 1,2 à 1,9 m²/ha/an (Figure 3b). Après la deuxième éclaircie, la surface terrière est passée de 26,9 m²/ha à 20,3 m²/ha dans aé200 et de 32,5 m²/ha à 24,2 m²/ha dans ecbas, pour un prélèvement de 25 % et 26 %, respectivement.

La cible initiale de prélèvement n'a pas été atteinte dans le cas de aé200. Le nombre d'arbres élités aurait dû être plus élevé.

Pour le volume, une moyenne de 39,3 m³/ha a été prélevée en 2008, incluant les sentiers de débardage. Le volume résiduel était de 83,2 m³/ha après la première éclaircie (Figure 3c) et ce volume est passé à 189 m³/ha en 2016, pour un accroissement annuel périodique de 13,2 m³/ha/année. Lors de la deuxième éclaircie, le volume récolté a été de 38 m³/ha dans l'aé200 et de 47 m³/ha dans ecbas. Contrairement à une première éclaircie, tout ce volume a été récupéré dans le peuplement et une quantité négligeable d'arbres a été coupée dans les sentiers de débardage. Dans tous les cas, l'écart du dhp quadratique, de la surface terrière et du volume entre les deux modalités d'éclaircies, avant et après traitement, n'est pas significatif ($p > 0,05$).

Il existe peu d'études au Québec ou dans l'Est canadien qui traite à la fois de la première et de la deuxième éclaircie. Les résultats obtenus par Pelletier et Pitt (2008) représentent probablement l'exception. Ces auteurs ont fait la comparaison de différentes modalités de première et de deuxième éclaircie dans des peuplements d'épinettes blanches et rouges au Nouveau-Brunswick. Globalement, les tendances sont les mêmes que celles observées dans la présente étude, sauf pour l'intensité du prélèvement. Dans l'étude de Pelletier et Pitt (2008), le prélèvement en volume varie de 67 à 97 m³/ha (28 % à 40 %), comparativement à 38 m³/ha (28 %) dans aé200 et 47 m³/ha (24 %) dans ecbas. Les différences entre les deux études sont probablement attribuables au volume initial avant traitement et au prélèvement prévu à la prescription. Quant aux accroissements en dhp quadratique, en surface terrière et en volume, ceux-ci sont comparables à d'autres études menées dans l'Est canadien (Gagné 2003, Pelletier et Pitt 2008) et dans la région du Bas-Saint-Laurent (Gagné et Lavoie 2014).

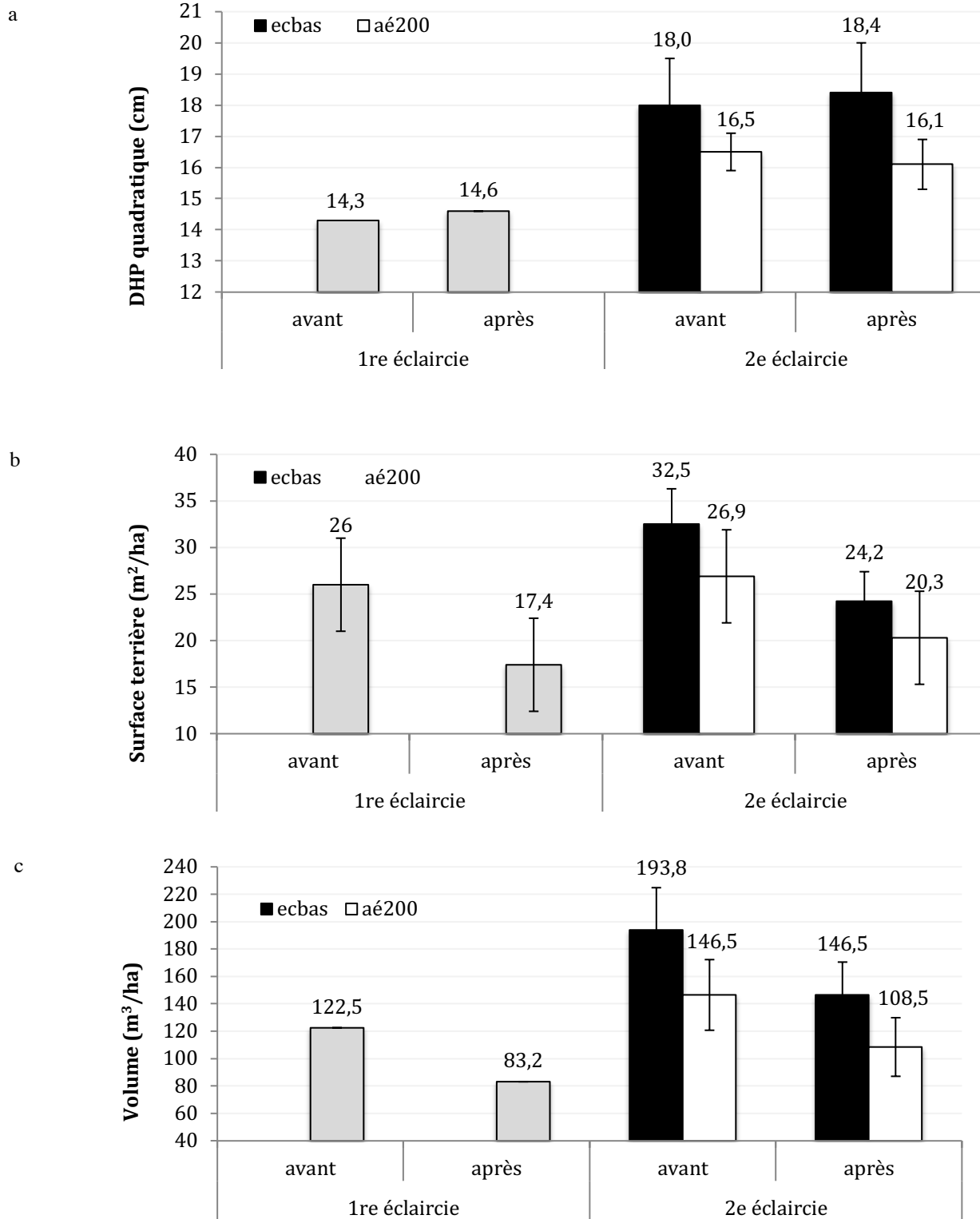


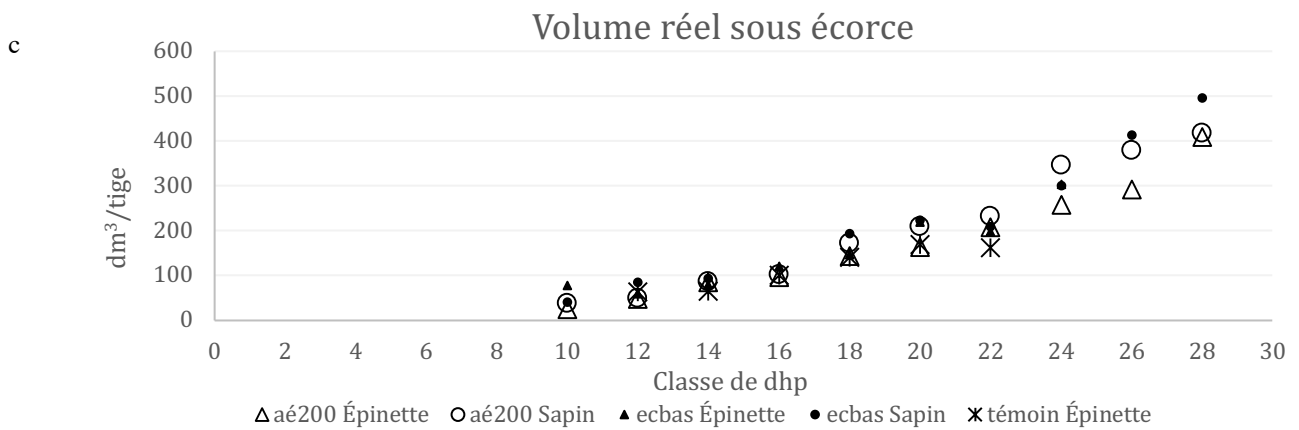
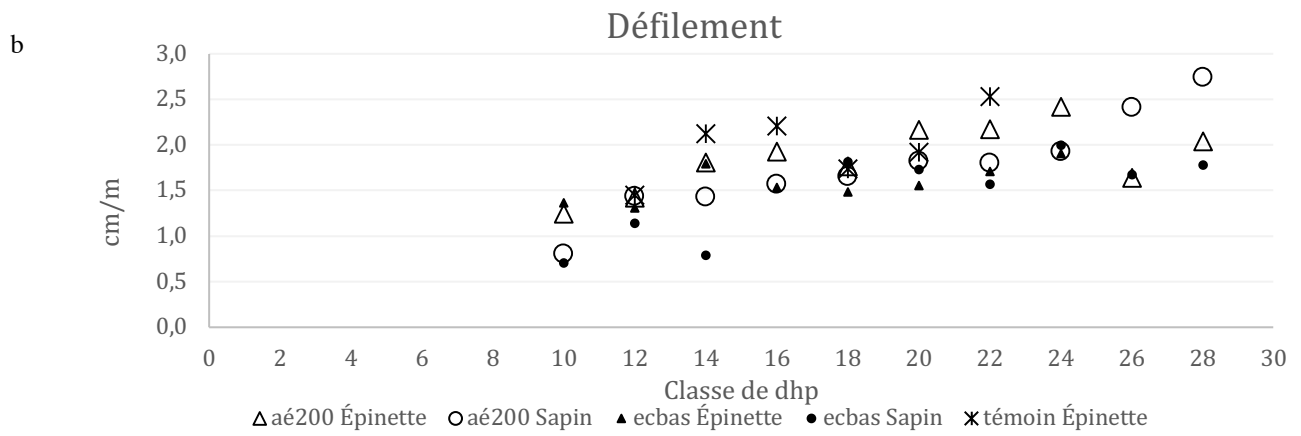
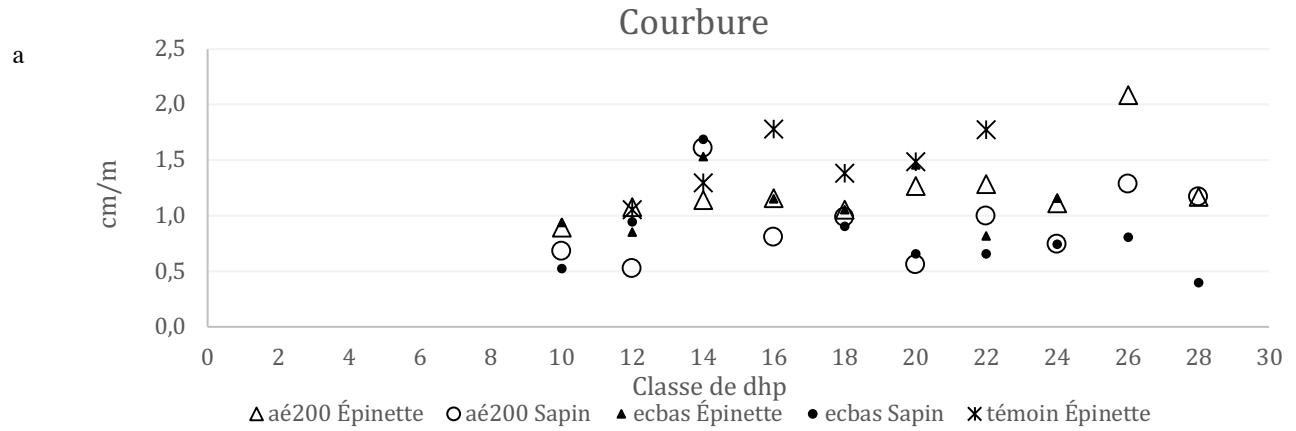
Figure 3 : Variation du dhp quadratique, de la surface terrière et du volume avant et après la première éclaircie et comparaison avant et après la deuxième éclaircie pour ecbas et aé200. Il n'y a aucune différence significative (ANOVA $p > 0,05$) de volume entre les éclaircies ecbas et aé200 avant et après la deuxième éclaircie

■ DENDROMÉTRIE

Les résultats obtenus montrent que les moyennes de courbure et de défilement chez les épinettes non éclaircies (témoin) sont un peu plus prononcées par rapport aux arbres éclaircis, celles-ci étant plus accentuées chez les dhp de 16 cm et plus (Figures 4 a et b). Les peuplements éclaircis auraient donc tendance à produire des arbres plus droits, particulièrement chez les classes de dhp de 16 cm et plus. Les moyennes de courbure des épinettes récoltées sont similaires entre les modalités d'éclaircies, mais plus importantes en comparaison au sapin. Pour la moyenne du volume réel et du volume sciage, les épinettes témoins ont un volume un peu inférieur comparativement aux arbres récoltés dans l'éclaircie (aucune tige témoin n'a un dhp supérieur à 22 cm). Pour les arbres récoltés dans l'éclaircie, le sapin a, en moyenne, un volume supérieur aux épinettes et cette observation est plus marquée pour les arbres ayant un dhp supérieur à 22 cm (Figures 4 c et d).

Toutes les caractéristiques dendrométriques d'un arbre sont importantes pour l'industrie de la transformation du bois et particulièrement le défilement. Il s'agit d'une caractéristique du tronc d'un arbre selon laquelle le diamètre va en diminuant depuis le bas vers le haut. Plus cette décroissance est élevée, plus le défilement est prononcé; ce qui n'est pas souhaitable lors de la transformation du bois. Chez l'épinette, le défilement observé lors de la deuxième éclaircie est semblable à celui d'arbres issus d'une première éclaircie (Gagné 2018) et demeure moins intéressant comparativement à des arbres plus vieux (Duchesne et Tanguay 2011). À l'inverse, le défilement tend plutôt à augmenter avec l'âge pour le sapin, comme observé dans l'étude de Ortuno et al. (2012).

Les défauts comme les courbures et le défilement peuvent être influencés par plusieurs facteurs tels que la largeur et la longueur de la cime (Larson 1963), la densité du peuplement au moment de l'éclaircie (Hann et Hanus 2004), la position sociale de la tige, la fertilité des sols et l'âge de l'arbre (Morris et Parker 1992, Muhairwe 1994, Sharma et Parton 2009, Weiskittel et al. 2009, Ortuno et al. 2012). Ces types de défauts peuvent avoir pour effet de diminuer les volumes de sciage (Ivkovic et al. 2007, Belley et Duchesne 2013, Schneider et al. 2013). Cette observation est particulièrement notable entre les épinettes éclaircies et celles non éclaircies (Figures 4 a et b). Le peuplement résiduel suivant une première éclaircie présente globalement des arbres de meilleure qualité pour la transformation du bois (Gagné et Lavoie 2014) et d'après Ivkovic et al. (2007), la pratique de l'éclaircie devrait être une priorité pour augmenter la qualité globale du peuplement.



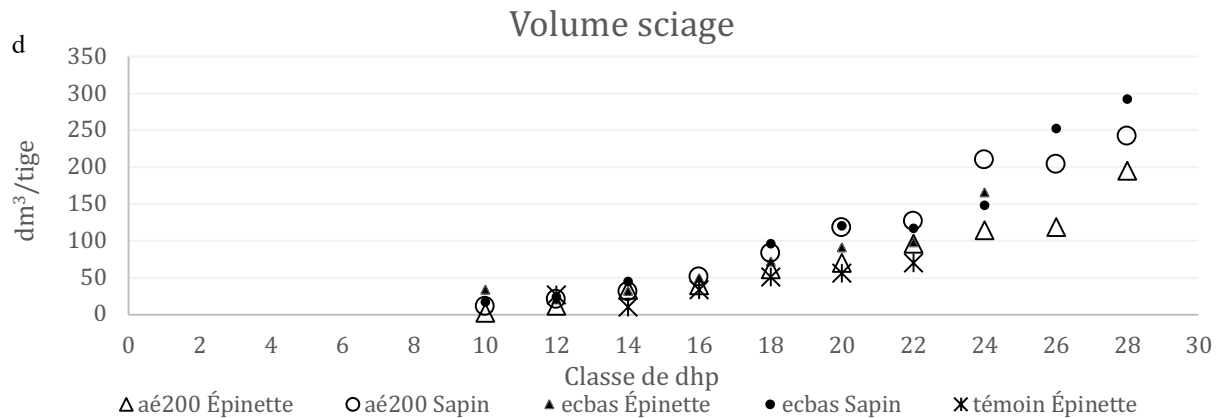


Figure 4 : Moyenne des courbures, des défilements, des volumes réels sous écorce et des volumes de sciage par classe de diamètre à hauteur de poitrine (dhp) et par essence pour les arbres récoltés dans aé200, ecbas et témoin

■ PANIER DE PRODUITS

- *Proportion des sciages et co-produits par procédé de débitage*

Nous avons calculé la proportion des sciages, des copeaux et des sciures par procédé de débitage et par modalité d'éclaircie. Les résultats obtenus montrent que la production de copeaux varie de 57 % à 63 % entre les procédés de débitage et que la proportion des sciages varie de 34 % à 40 % (Figure 5). Pour un même procédé de débitage, la proportion des sciages et des co-produits est similaire entre les deux modalités d'éclaircie. Globalement, il n'y a pas de différence significative ($p > 0,05$) entre les modalités d'éclaircie.

La proportion des sciages est un peu moins élevée que celle de l'étude de Duchesne et Tanguay (2011) en raison de l'âge des arbres. Les deux modalités appliquées actuellement au Bas-Saint-Laurent, soient l'éclaircie par le bas avec espacement et l'éclaircie neutre par le dégagement d'arbres élites, ont chacune des objectifs et des modalités de récolte différents (Gagné et Lavoie 2014). La production de matière ligneuse représente un objectif commun, mais l'aé200 vise en plus à créer un peuplement irrégulier avec le temps. Les résultats montrent que, peu importe le mode de prélèvement des tiges, la proportion des sciages demeure similaire entre les éclaircies (Figure 5) et favorise un peuplement résiduel de bonne qualité (réf. : Figures 2 et 3).

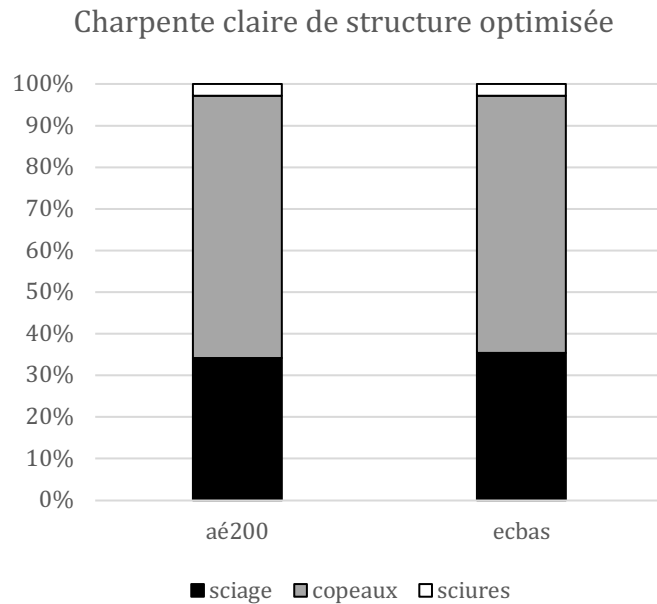
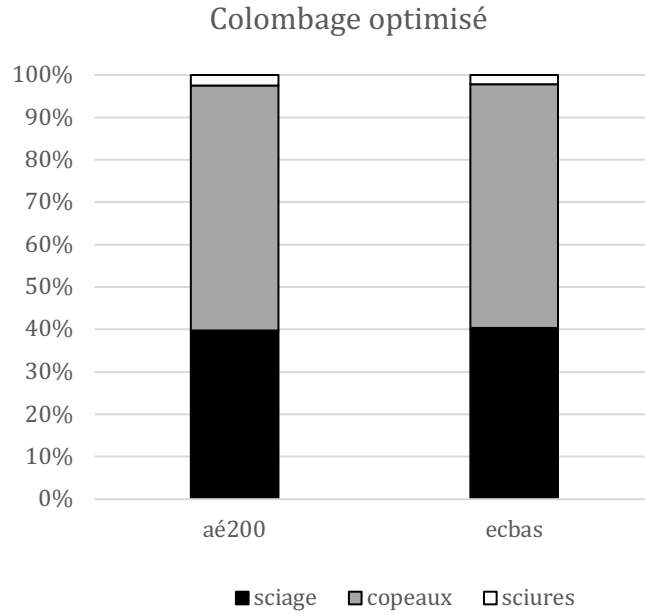


Figure 5 : Proportion des sciages, des copeaux et des sciures par modalité d'éclaircie et par procédé de débitage. Aucune différence significative (ANOVA, $p > 0,05$) entre les modalités d'éclaircie pour les sciages, copeaux et sciures pour chacun des procédés de débitage ni entre les procédés de débitage pour une même modalité d'éclaircie

- **Quantité de pmp/ha**

Pour les deux modalités d'éclaircie, la production de pmp/ha est globalement plus élevée dans les classes de longueur 8-9 pi, suivies des classes ≥ 10 pi et < 8 pi (Figure 7). Pour les classes de longueur de 8-9 pi et ≥ 10 pi, la quantité de pmp/ha des pièces de 2 x 4 est toujours plus élevée et varie entre 1 055 et 1 325 pmp/ha, entre 329 et 931 pmp/ha pour les pièces de 2 x 3 et entre 400 et 600 pmp/ha pour les pièces de 2 x 6. Pour la plupart des classes de longueur et les types de pièces, la moyenne de pmp/ha produite est plus élevée chez l'ecbas comparativement à aé200, mais cette différence n'est pas significative ($p > 0,05$) (Figure 6). Globalement, la production moyenne de pmp/ha est de 4 528 pour l'éclaircie aé200 et de 5 198 pour l'ecbas, pour les deux procédés de débitage combinés (Annexe 7).

D'après l'étude de Gagné et al. (2016), la production de sciage (pmp/ha) d'une deuxième éclaircie en plantation d'épinettes serait 2,5 à 3 fois plus élevée que lors d'une première éclaircie. Dans cette étude, la production de pmp/ha varie de 1 738 à 1 872 selon la modalité d'éclaircie, alors que la surface terrière, le dhp quadratique, le ratio hauteur/dhp du peuplement d'origine ainsi que la modalité d'éclaircie appliquée sont parmi les facteurs les plus importants pour expliquer la quantité et la qualité des sciages issus d'une première éclaircie. Pour des peuplements plus âgés, Duchesne et Tanguay (2011) proposent des rendements de 13 000 à 27 000 pmp/ha dans une plantation d'épinette blanche de 60 ans, en Ontario. Le peuplement de 40 ans faisant l'objet de la présente étude ne produira pas nécessairement les mêmes rendements que l'exemple de l'Ontario et ce, pour des raisons de climat ou de productivité. Cependant, il est possible d'anticiper que la production de pmp/ha d'ici 20 ans pourrait doubler ou tripler en assumant que le peuplement sera récolté en coupe totale vers l'âge de 60 ans.

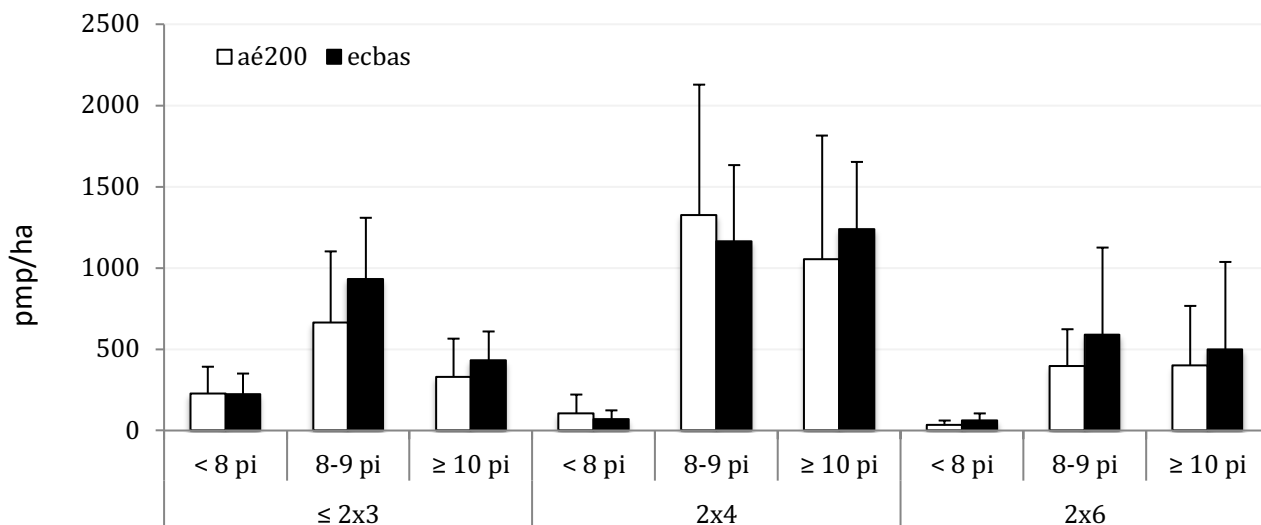


Figure 6 : Comparaison de la quantité de pmp/ha moyen et écart-type (barre d'erreur) par classe de longueur (< 8 pi, 8-9 pi, ≥ 10 pi) et par type de pièce ($\leq 2 \times 3$, 2x4, 2x6) entre chaque modalité d'éclaircie. Aucune différence significative (ANOVA, $p > 0,05$) du nombre de pmp/ha entre les modalités d'éclaircie pour une même classe de longueur et un même type de pièce

- *Rendement en valeur et volume*

Les simulations avec le logiciel Optitek ont permis de calculer le rendement moyen en volume et en valeur par tige. Les rendements en volume ou en valeur n'ont aucune différence significative entre les modalités d'éclaircie, ni entre les procédés de débitage testés, sauf dans le cas du rendement exprimé en \$/Mpmp pour l'aé200 ($p < 0,05$) (Tableau 6).

Quels que soient le procédé de débitage et la modalité d'éclaircie, la valeur des sciages varie de 85 % à 88 % de la valeur totale d'une tige, des proportions comparables à des plantations d'épinette blanche de 60 ans (Duchesne et Tanguay 2011). La valeur d'une tige de 24 cm peut être 10 fois supérieure à celle d'une tige de 10 cm au dhp, ce qui démontre toute l'importance de produire des arbres à gros diamètre (Annexe 8).

Tableau 5 : Rendement moyen en volume et en valeur (\$can2017) par tige, par modalité d'éclaircie et par procédé de débitage. Les écarts-types sont indiqués entre parenthèses. Des lettres minuscules indiquent des différences significatives entre les procédés de débitage pour une modalité d'éclaircie donnée (ANOVA, $p < 0,05$). Il n'y a aucune différence significative entre les modalités d'éclaircies dans chacun des procédés de débitage

Procédé de débitage	Éclaircie	Rendement						
		Volume		Valeur				
		m ³ /Mpmp	pmp/m ³	\$/m ³	\$/Mpmp	sciage/tige (\$)	copeaux/tige (\$)	Total/ tige (\$)
Colombage optimisé	aé200	5,1 (2,5)	199 (65)	114(30)	569 (130) a	15 (14)	2 (1,3)	17 (15)
	ecbas	5,2 (2,7)	202 (74)	116(34)	566 (132)	15 (15)	2 (1,3)	17 (16)
Charpente claire de structure optimisée	aé200	5,6 (3,1)	182 (70)	118(38)	620 (179) b	15 (16)	3 (1,3)	18 (17)
	ecbas	5,5 (4,1)	189 (81)	120(44)	597 (203)	16 (18)	2 (1,4)	18 (20)



▪ SÉCHAGE

D'après les résultats obtenus, c'est sur la masse que le séchage a le plus d'effet avec une diminution de 32 à 40 % du poids. La diminution du poids d'une pièce de bois est un des objectifs visés par le séchage, mais c'est la vitesse à laquelle se retire l'eau qui provoque les déformations. Outre le retrait en masse, les voilures et la torsion sont les défauts les plus prononcés avec des déformations de plus de 5 mm à plus de 10 mm (Figure 7). Quant aux retraits en largeur et en épaisseur, ils varient respectivement de 3,1 à 6,0 % et de 2,7 à 4,4 %. Le tirant à cœur s'est avéré la déformation la plus négligeable, en particulier pour les pièces de 2 x 3. Il n'y a pas de tendance claire pour déterminer le type de déformation la plus significative en fonction des types de pièces et des modalités d'éclaircie. Les pièces issues d'arbres non éclaircis ont tendance à produire un peu plus de défauts et les différences significatives ($p < 0,05$) sont surtout observées entre les types de pièces, mais parfois entre les éclaircies, particulièrement pour le voilement de rive.

Le séchage des bois d'essences résineuses est une méthode utilisée depuis longtemps dans l'industrie du sciage. Elle est fortement recommandée pour différentes raisons, notamment pour diminuer le poids et améliorer la stabilité dimensionnelle, en plus d'augmenter la résistance à la pourriture et aux insectes (Normand 2006). Cette étape comporte toutefois des risques puisque le processus de séchage entraîne parfois l'apparition de défauts qui sont peu apparents lorsque le bois est à l'état vert. Le séchage peut en effet induire des changements dans la forme de la pièce (Annexe 5) et l'importance de ces changements est souvent associée à la qualité du bois (Chung Chian 2006).

Dans le cas de l'épinette blanche provenant d'une deuxième éclaircie de plantation, les retraits sont comparables à d'autres études au Québec (Girard 2003, Chung Chian 2006), sauf pour les 2 x 4 et 2 x 6 où on observe des valeurs légèrement supérieures. Concernant les défauts de voilure et de torsion, les résultats montrent des valeurs supérieures à celles obtenues par Girard (2003) et Chung Chian (2006), particulièrement pour les arbres non éclaircis. Bien que les plantations d'épinettes blanches non éclaircies aient tendance à produire des arbres de moins bonne qualité comparativement aux arbres éclaircis en générant certains défauts plus prononcés, cela n'a pas pour conséquence de déclasser les pièces de bois. D'après la Commission nationale de classification des sciages (CNCS 2017) pour les bois résineux, les défauts de voilure et de torsion observés à partir des arbres éclaircis de la plantation sont considérés comme légers. On peut affirmer que les sciages issus de cette plantation seraient donc admissibles aux marchés du bois d'œuvre canadien et américain, mais pour savoir si ces résultats sont applicables à toutes les plantations d'épinette blanche du Bas-Saint-Laurent, il faudrait faire d'autres études.

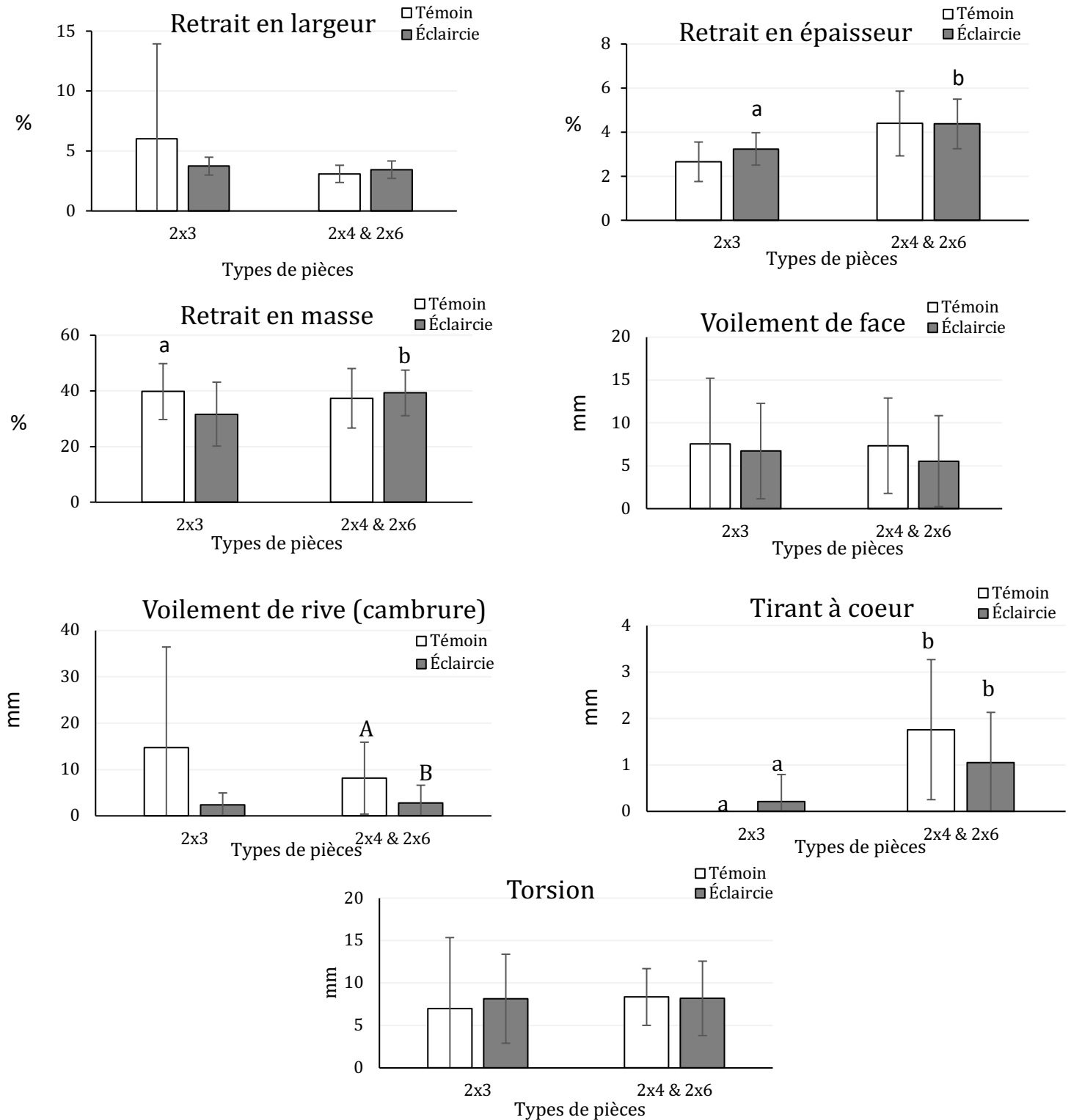


Figure 7 : Comparaison des retraits et déformations (voilements, tirant à cœur et torsion) après séchage entre les types de pièces provenant des arbres récoltés lors de la deuxième éclaircie et provenant des arbres récoltés dans la portion témoin de la plantation. Les lettres majuscules indiquent une différence significative (ANOVA, $p < 0,05$) entre les modalités d'éclaircie pour un type de pièce donnée. Des lettres minuscules indiquent une différence significative entre les types de pièces pour une éclaircie donnée. L'absence de lettre signifie qu'il n'y a pas de différence significative

■ PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DU BOIS D'ÉPINETTE BLANCHE

Les indicateurs de qualité du bois sont toujours supérieurs pour les arbres de 16 et 18 cm au dhp, comparativement à ceux de 20 et 22 cm et cette différence est significative ($p < 0,05$) pour le MOR et le déplacement à charge maximale (Tableau 6). Dans cette plantation, environ 40 % des tiges de 16 à 18 cm atteignent les valeurs minimales pour le classement MSR (Tableau 6). Il s'agit d'une importante augmentation par rapport à une première éclaircie (Gagné et al. 2012). D'après Duchesne et Tanguay (2011), cette tendance se poursuit dans les plantations plus âgées.

Vers l'âge de 35 à 40 ans, l'épinette blanche a débuté la production de bois mature (Zhou et Smith 1991) et possède donc des propriétés mécaniques plus élevées. Un bois d'épinette blanche séché lentement et doucement favorise également une augmentation des propriétés mécaniques (Zhou et Smith 1991). Les valeurs de MOE, MOR et de densité rejoignent et dépassent parfois celles de peuplements naturels (Zhang et Koubaa 2009). Considérant que la croissance est un facteur qui influence directement la résistance à la flexion des bois d'épinette blanche (Zhang et Koubaa 2009), l'éclaircie neutre par le dégagement d'arbres élites devrait être sérieusement considérée dans le futur, puisqu'elle vise à laisser un mélange de tiges à croissance lente, moyenne et rapide. Dans une éclaircie par le bas, l'objectif est plutôt de laisser majoritairement les plus grosses tiges à croissance rapide pour la coupe finale.

La qualité du bois est sous l'influence de plusieurs facteurs, notamment la croissance (Pape 1999, Zhang et Koubaa 2009), les conditions météorologiques (Corriveau et al. 1990), la génétique (Corriveau et al. 1991), le type de séchage (Zhou et Smith 1991), mais l'âge semble être un facteur encore plus important (Pape 1999). Étant donné que les échantillons ont été sélectionnés à partir d'arbres ayant le même âge, le dhp pourrait être un indicateur important pour déterminer la qualité du bois. Tel que proposé par Gagné et al. (2012), la production de bois de qualité supérieure (MSR) dans les plantations d'épinettes blanches aménagées devrait débiter vers l'âge de 40 ans.

Les résultats obtenus dans la présente étude montrent que des pièces de bois provenant des arbres ayant un dhp de 16 et 18 cm peuvent atteindre les standards de base pour la classification MSR (NLGA SPS-2 2013). L'industrie du sciage pourrait donc envisager développer le marché du bois de haute qualité à partir de billes provenant d'une deuxième éclaircie de plantation. D'autres études seront nécessaires dans d'autres plantations d'épinette blanche ayant eu l'influence de différentes modalités d'éclaircie pour préciser la proportion des pièces de bois qui atteignent les standards MSR dans des peuplements plus âgés. Cela permettra d'évaluer si les propriétés mécaniques poursuivent leur progression après l'âge de 40 ans.

Tableau 6 : Comparaison des principaux indicateurs de qualité du bois en fonction des classes de dhp. L'écart-type est entre parenthèses. Les lettres différentes indiquent une différence significative (ANOVA, $p < 0,05$) entre les classes de dhp pour un indicateur de qualité du bois donné. L'absence de lettre indique qu'il n'y a pas de différence significative ($p > 0,05$)

Classe de dhp (cm)	Indicateurs de qualité du bois				n
	MOE (Mpa)	MOR (Mpa)	Déplacement de charge maximale (mm)	Densité (kg/m ³)	
16-18 ¹	9732 (2169)	42,9 (11,6)a	129 (34)a	390 (27)	24
20-22	8275 (1751)	30,6 (8,5)b	97 (19)b	377 (30)	21
Moyenne	9086	37,1	114	384	45

¹ Environ 40 % des tiges de 16 à 18 cm atteignent ou dépassent la valeur minimale de 10 300 Mpa (NLGA SPS-2 2013)

■ COÛTS DE RÉCOLTE ET DE DÉBARDAGE

Les coûts d'abattage et de façonnage des bois sont parmi les indicateurs économiques les plus importants pour déterminer la rentabilité des opérations de récolte. La présente étude estime les coûts à 13,90 \$/m³ pour aé200 et à 15,70 \$/m³ pour ecbas, alors que les coûts totaux sont respectivement de 24,30 \$/m³ et 26,10 \$/m³ (Figure 8). Il y a eu un martelage des arbres-élites dans le cas de aé200, contrairement à ecbas où aucun arbre n'a été marqué et considérant que les coûts de martelage positif sont de 96 \$/ha (BMMB 2018), ce qui représente approximativement 2,50 \$/m³, les coûts totaux de récolte entre les deux modalités d'éclaircie sont légèrement en faveur de l'ecbas (26,80 \$/m³ aé200 versus 26,10 \$/m³ ecbas). Toutefois, il faut préciser que le volume récolté dans aé200 était de 5 % inférieur à la cible, ce qui n'est pas le cas pour ecbas. Dans ce contexte, fort probablement que les coûts de récolte pour aé200 auraient été plus bas si on avait atteint notre cible initiale de prélèvement. En comparaison avec la première éclaircie commerciale dont les coûts totaux varient de 39 \$/m³ à 50 \$/m³, les coûts de récolte en deuxième éclaircie sont en moyenne de 13 \$/m³ à 24 \$/m³ inférieurs (Gaudreau 2013, Gagné et Lavoie 2014, Gagné et Lavoie 2016). Les coûts de débardage sont considérés constants puisqu'ils sont très peu influencés par les modalités d'éclaircie (Gaudreau 2013, Gagné et Lavoie 2016).

Les coûts étant intimement liés aux éléments de cycle pour la récolte, les résultats obtenus montrent que le déplacement, le positionnement de la tête et le façonnage des billes représentent entre 79 % et 83 % du temps pour réaliser l'éclaircie (Tableau 7).

Parmi ces trois éléments de cycle, le déplacement et le façonnage des billes semblent expliquer en grande partie les différences entre les modalités d'éclaircie. Pour le déplacement, l'abatteuse-façonneuse passe près du tiers (31 %) de son temps en déplacement dans aé200, comparativement à 23 % pour ecbas, alors que c'est 15 % en moyenne pour une première intervention (Gagné et Lavoie 2016). Le temps de déplacement est un indicateur de la rapidité d'exécution (Eliasson et Lageson 1999).

Si la machinerie est régulièrement en déplacement, elle réalise toutes les étapes de récolte plus rapidement. Pour le façonnage des billes, une moyenne de 31 % du temps est consacrée à cette étape dans aé200, comparativement à une moyenne de 36 % dans ecbas. Cela représente une baisse de 1 % (Gagné et Lavoie 2016) à 7 % (Gaudreau 2013) par rapport à une première éclaircie.

Globalement, aé200 requiert 5,38 minutes/m³ tandis que ecbas requiert 6,09 minutes/m³, ce qui explique les variations de coûts d'abattage et de façonnage des bois de 13,90 \$/m³ pour aé200 à 15,70 \$/m³ pour ecbas (Tableau 7). Dans le cas d'une première éclaircie, une moyenne de 7,6 minutes/m³ a été observée par Gaudreau (2013), tandis que la moyenne observée par Gagné et Lavoie (2016) a été de 8,8 minutes/m³.

L'exécution de la deuxième éclaircie est donc environ 29 à 39 % plus rapide, comparativement à la première éclaircie. La densité du peuplement, le type de terrain, l'expérience de l'opérateur (Eliasson et Lageson 1999) ainsi que la dimension des arbres et les modalités de récolte (Gagné et Lavoie 2014, 2015) représentent les principaux facteurs faisant varier les coûts. D'autres études au Québec (Meek 2016) et dans le monde arrivent à des résultats similaires lorsque différentes modalités d'éclaircie sont comparées (Axelsson et Eriksson 1986, Mielikäinen et Valkonen 1991).

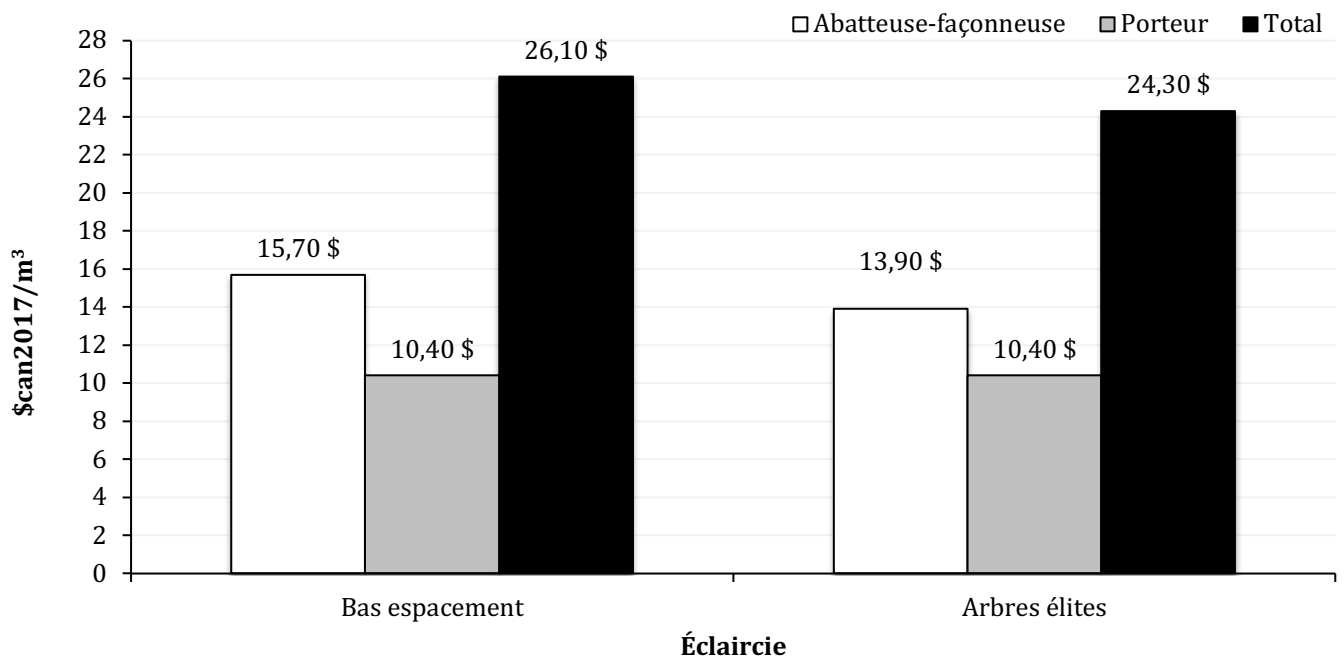


Figure 8 : Coûts de récolte totaux avec martelage par modalité d'éclaircie et coût pour l'abatteuse-façonneuse et le porteur

**Tableau 7 : Critères d'observation et éléments de cycle pour le porteur et par modalité d'éclaircie pour l'abatteuse-
façonneuse lors de l'étude de temps et de mouvement**

Critères d'observation pour l'abatteuse-façonneuse	pour ecbas	Éclaircie aé200		Critères d'observation pour le porteur			
Durée d'observation (HMP ¹)	7,1	6,4		Durée d'observation (HMP)	7,2		
Volume moyen par tige (m ³ /tiges)	0,130	0,149		Nombre voyage	8		
Productivité (tiges/HMP)	75,8	75,0		Volume transporté (m ³)	79,4		
Productivité (m ³ /HMP)	9,9	11,2		Productivité (m ³ /HMP)	11,1		
Éléments de cycle	minutes/m³	%	minutes/m³	%	Éléments de cycle	minutes chargement	/ %
Déplacement	1,39	23	1,68	31	Déplacement à vide	5,61	10
Positionnement de la tête	1,21	20	1,14	21	Chargement	23,69	44
Abattage	0,69	11	0,51	9	Déplacement pendant le chargement	9,27	17
Façonnage des billes	2,17	36	1,66	31	Déplacement en charge	2,28	5
Arrangement piles	0,02	1	0,03	1	Arrangement piles	1,64	3
Débroussaillage	0,24	4	0,07	1	Déchargement	9,53	18
Délais opérationnels	0,36	5	0,28	6	Délais opérationnels	1,64	3
TOTAL	6,09	100	5,38	100	TOTAL	53,66	100

¹ Heure Machine Productive

CONCLUSION

Cette étude a permis d'apporter de nouveaux éléments de connaissance. Les résultats obtenus montrent que la première éclaircie commerciale a certainement eu un effet positif sur la qualité des arbres récoltés lors de la deuxième éclaircie commerciale. La qualité des arbres dans cette plantation est meilleure comparativement à une première éclaircie, ce qui permet de générer un panier de produits encore plus diversifié et de plus grande valeur en plus d'obtenir de meilleures propriétés mécaniques du bois. Une proportion importante de bois de charpente peut être obtenue et environ 40 % des sciages peuvent atteindre les standards de base pour le classement MSR. Toutefois, d'autres études dans d'autres plantations seront nécessaires afin de valider les résultats. Il serait également intéressant de comparer avec les sciages provenant de plantations d'épinettes noires.

En plus de générer des tiges de meilleure qualité, la deuxième éclaircie offre des coûts de récolte inférieurs à ceux de la première éclaircie. La rapidité d'exécution de la deuxième éclaircie est également supérieure. Il sera maintenant intéressant de suivre la plantation ayant fait l'objet de cette étude dans le temps afin de voir l'évolution des arbres en fonction de la modalité d'éclaircie appliquée en 2017 et dans d'autres plantations de plus de 40 ans.

RÉFÉRENCES

ASTM 2000. Standard test methods of static tests of lumber in structural sizes. Designation D-198-99. 20 p.

Axelsson, J., et Eriksson, L. 1986. Estimation of thinning – computerized simulation of biological and economical effects due to different thinning method. Swed. Univ. of Agric. Sci., Dept. of Operational Efficiency, Garpenberg. Report No. 166. 55 pp. ISBN 91-576-2613-8.

Balleux, P. et Ponnette, Q. 2006. Dispositif d'éclaircie en épicéa, principaux enseignements de trente années d'expérience. Forêt Walonne no. 83. 21 p.

Belley, D., Beaudoin, M., Duchesne, I., Vallerand, S., Tong, Q.J., et Swift, D.E. 2013. Assessment of white spruce and jack pine stem curvature from a nelder spacing experiment. Wood and Fiber Science, 45(3) : 237-249.

Boone, R.S., Kozlik, C.J., Bois, P.J., et Wengert, E.M. 1993. Dry kiln schedules for commercial woods : temperate and tropical, Madison, Wisconsin, United States, Department of Agriculture, Forest Products Laboratory. (US Forest Service General Technical Report; FPL-57)

Boulet, B. 2007. Défauts et indices de la carie des arbres. 2^e édition. Les publications du Québec. ISBN 9782551197835 317 p.

BMMB (Bureau de mise en marché des bois), 2018. Valeur des traitements sylvicoles commerciaux pour l'année financière 2018-2019 Forêt publique. Direction des évaluations économiques et financières. 4 pages. Disponible sur internet à l'adresse suivante : https://bmb.gov.qc.ca/media/45269/cadre_application_vtsc_2018-2019.pdf.

Cech, M.Y., et Pfaff, F. 1980. Kiln operator's manual for eastern Canada, Ottawa, Ontario, Forintek Canada Corp., 189 p. (Special publication; SP-504E).

Cecobois 2018. Disponible sur internet à l'adresse suivante : www.cecobois.com/classification-par-contraite-mecanique-msr

Chung Chian, J.R. 2006. Stratégies de séchage à haute température pour le bois à valeur ajoutée. Mémoire de maîtrise. Département des sciences du bois et de la forêt, faculté de foresterie et géomatique, Université Laval. 111 p.

CNCS (Commission nationale de classification des sciages). 2017. Règles de classification pour le bois d'œuvre canadien. 282 p.

Corriveau, A., Beaulieu, J., Mothe, F., Poliquin, J., et Doucet, J. 1990. Densité et largeur des cernes des populations d'épinettes blanches de la région forestière des Grands Lacs et du Saint-Laurent. Canadian Journal of Forest Research. 20(2) : 121-129. Doi:10.1139/x90-018.

Corriveau, A., Beaulieu, J., et Daoust, G. 1991. Heritability and genetic correlations of wood characters of Upper Ottawa Valley white spruce populations grown in Quebec. *The Forestry Chronicle*. 67(6): 698-705.

Eliasson, L. et Lageson, H. 1999. Simulation study of a single-grip harvester in thinning from below and thinning from above. *Scandinavian Journal of Forest Research* 14: 589-595.

Fortin, J.-C., Lechasseur, A., Morin, Y., Harvey, F., Lemay, J. et Tremblay, Y. 1993. Histoire du Bas-Saint-Laurent. Institut québécois de la recherche sur la culture. 860 p.

Gagné, L. 2003. Croissance et propriétés du bois après éclaircie commerciale dans une plantation d'épinette blanche (*Picea glauca* [Moench] Voss) de 32 ans du Nord-Ouest du Nouveau-Brunswick. Thèse de maîtrise. Faculté de foresterie, Université de Moncton, Campus d'Edmundston. 206 p.

Gagné, L., Lavoie, L., Binot, J.-M. 2012. Croissance et propriétés mécaniques du bois après éclaircie commerciale dans une plantation d'épinette blanche (*Picea glauca*) âgée de 32 ans. *Revue canadienne de recherche forestière*. 42 : 291-302.

Gagné, L. et Lavoie L. 2014. Comparaison des caractéristiques dendrométriques, du panier de produits et des coûts d'opération de différentes modalités d'éclaircie commerciale mécanisée en plantation dans le Bas-Saint-Laurent. Conférence régionale des élus du Bas-Saint-Laurent, 65 p. Disponible en ligne à l'adresse suivante : <http://www.crdbsl.org>.

Gagné, L. et Lavoie, L. 2016. Comparaison des caractéristiques dendrométriques, de la valeur des peuplements et des coûts d'opération de différentes modalités d'éclaircie commerciale mécanisées en peuplement résineux dans le Bas-Saint-Laurent. Collectif régional de développement du Bas-Saint-Laurent, 38 p. Disponible en ligne à l'adresse suivante : www.crdbsl.org.

Gagné, L., Sirois, L. et Lavoie, L. 2016. Comparaison du volume et de la valeur des bois résineux issus d'éclaircies par le bas et par dégagement d'arbres-élites dans l'Est du Canada. *Revue canadienne de recherche forestière*, n° 46, p. 1320-1329, [dx.doi.org/10.1139/cjfr-2015-0395](https://doi.org/10.1139/cjfr-2015-0395).

Gagné, L. 2018. Caractéristiques dendrométriques, panier de produits et valeur des arbres issus d'une première éclaircie commerciale en plantation d'épinette blanche. Disponible en ligne à l'adresse suivante : <http://www.crdbsl.org>

Gaudreau, J.-P. 2013. Analyse des coûts de variantes d'éclaircie commerciale dans des plantations au Bas-Saint-Laurent. FPInnovations. 39 p. Document confidentiel.

Girard, B. 2003. Évaluation de l'aptitude du bois d'épinette blanche de plantation au séchage à moyenne et à haute température. Mémoire de maîtrise. Département des sciences du bois et de la forêt. Université Laval. Québec. 88 p.

Hann, D.W. et Hanus, M.L. 2004. Evaluation of non-spatial approaches and equation forms used to predict tree crown recession. *Revue canadienne de recherche forestière*, n° 34, p. 1993-2003.

Ivkovic, M., Wul, H.X., Spencer, D.J., McRea, T.A. 2007. Modelling the effects of stem sweep, branch size and wood stiffness of radiata pine on structural timber production. *Aust. For.* 70(3): 173-184.

Josza, L.A. et Middleton, G.R. 1997. A discussion of wood quality attributes and their practical implications. Forintek Canada Corp. Special publication No. SP-34 FS 74 HSP95/3. 42 p.

Kerr, G. et Haufe, J. 2011. Thinning practice a silvicultural guide. Forestry Commission. Forest Research. 54 p.

Lenz, P., Bernier-Cardou, M., Mackay, J. et Beaulieu, J. 2012. Can wood properties be predicted from the morphological traits of a tree? A canonical correlation study of plantation-grown white spruce. *Can. J. For. Res.* 42: 1518-1529.

Leroux, A. 2016. Analyse de rentabilité financière portant sur la deuxième éclaircie commerciale (EC2) dans les plantations d'épinette blanche au Bas-Saint-Laurent. Bureau de mise en marché des bois. 20 p. Disponible en ligne à l'adresse suivante: www.crdbsl.org

Meek, P. 2016. Mettre à profit les éclaircies commerciales pour soutenir la possibilité forestière. Les colloques du Service canadien des forêts-Centre de foresterie des Laurentides. 17 novembre 2016. Présentation power-point.

Mielikäinen, K. et Valkonen, S. 1991. Effects of thinning methods on the yield of middle-age stands in southern Finland. *Folia Forestalia* 776, 22 pp.

Ministère des Ressources naturelles (MRN). 2014. Sommaire du plan d'aménagement forestier intégré tactique. Direction générale du Bas-Saint-Laurent. Disponible en ligne à l'adresse suivante : www.mrn.gouv.qc.ca/forets/consultation/consultation-amenagement.jsp

Morris, D.M. et Parker, W.H. 1992. Variable-quality form in mature jack pine stands : quantification and relationship with environmental factors. *Canadian Journal of Forest Research*, n° 22(3), p. 279-289.

Muhairwe, C.K. 1994. Tree form and taper variation over time for interior lodgepole pine. *Canadian Journal of Forest Research*, n° 24(9), p. 1904-1913.

National Lumber Grades Authority (NLGA). 2013. SPS 2 Special products standard for machine graded lumber.

Normand, D. 2006. Principe de base pour le séchage de bois d'apparence. Présentation fait lors du Colloque « 2^e Rendez-vous à valeur ajoutée meubles et bois d'apparence en résineux » Forintek Canada Corp. 16 février 2006.

Ortuno, M., Gagné, L., Pinna, S. et Hébert, B. 2012. Éclaircie commerciale dans les sapinières gaspésiennes : effets sur l'accroissement et sur le défilement des tiges. Consortium en foresterie Gaspésie-Les-Îles, note de recherche appliquée, n° 3, 19 p. ISBN 978-2-923948-10-2. Disponible en ligne à l'adresse suivante : www.mieuxconnaitrelaforet.ca.

Pape, R. 1999. Influence of thinning and tree diameter class on the development of basic density and annual ring width in *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 14: 27-37.

Pelletier, G. et D.G. Pitt. 2008. Silvicultural responses of two spruce plantations to midrotation commercial thinning in New Brunswick. *Canadian Journal Forest Research* 38 : 851-867. DOI :10.1139/X07-173

Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S., Sarkar, D. et The R Development Core Team, 2010. nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-97.

Schneider, R., Fortin, M. et Saucier, J-P. 2013. Équations de défilement en forêt naturelle pour les principales essences commerciales du Québec. Ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière, ISSN : 1183-3912, ISBN : 978-2-550-66647-9. Disponible en ligne à l'adresse suivante : www.mrn.gouv.qc.ca/forets/connaissances/recherche.

Sharma, M. et Parton, J. 2009. Modeling stand density effects on taper for jack pine and black spruce plantations using dimensional analysis. *Forest Science*. vol. 55(3), p. 268-282.

Smith, D.M., Larson, B.C., Kelty, M.J., et Ashton, P.M.S. 1997. The practice of silviculture. Applied forest ecology. Ninth edition. John Wiley and Sons. 537 p.

Warnes., G.R., Bolker, B., Lumley, T. et Johnson, R.C. Contributions from Randall C. Johnson are Copyright 2005. SAIC-Frederick, Inc. Funded by the Intramural Research Program, of the NIH, National Cancer Institute and Center for Cancer Research under NCI Contract NO1-CO-12400. gmodels: Various R programming tools for model fitting.

Weiskittel, A.R., Kenefic, L.S., Seymour, R.S. et Phillips, L.M. 2009. Long-term effects of precommercial thinning on the stem dimensions, form and branch characteristics of red spruce and balsam fir crop trees in maine, USA. *Silva Fennica*, vol. 43(3), p. 397-409.

Zhang, S.Y. (Tony), Koubaa, A. 2009. Les résineux de l'Est du Canada. Écologie forestière, caractéristiques, transformation et usages. FP-Innovations. Publication spéciale SP-526F. ISBN 978-0-86488-538-8.

Zhou, H. et Smith, I. 1991. Factors influencing bending properties of white spruce lumber. Wood Fiber Science 23(4): 483-500.



ANNEXES



ANNEXE 1 – MODÈLE D'ABATTEUSE-FAÇONNEUSE

Abatteuse-façonneuse



Crédit photo : Collectif régional de développement du Bas-Saint-Laurent

Porteur



Photo internet

Lecteur optique 3D



Crédit photo : Collectif régional de développement du Bas-Saint-Laurent

Débitage



Crédit photo : Collectif régional de développement du Bas-Saint-Laurent

Exemple d'échantillons pour les propriétés mécaniques



Crédit photo : Collectif régional de développement du Bas-Saint-Laurent



ANNEXE 2 – PRESCRIPTION SYLVICOLE ET DIRECTIVES DE MARTELAGE POUR L'ÉCLAIRCIE NEUTRE PAR DÉGAGEMENT D'ARBRES ÉLITES

Prescription sylvicole pour entente de récolte et permis

No prescription PS_2016_01152_EC_16942

IDENTIFICATION		
Secteur d'intervention	Chantier	Superficie (ha)
EC_BEAZ_1692	LAC BEAZLEY	3.1
Total:		3.1

Version	1
Unité compilation	16042
Unité d'aménagement	01152

DIAGNOSTIC							
Description dendrométrique				Année d'inventaire			
				2016			
	TOTAL	SEPM	THO	AUR	FI	FPT	FT
Volume marchand brut (m ³ /ha)	189	188	1				0
DHP moyen (cm)	17.7	17.7	24.2				16.0
Volume tige (dm ³)	146	146	247				100
Surface terrière (m ² /ha)	31.9	31.7	0.2				0.0
Capital forestier (m ² /ha)	23.2	23.2					0.0
Capital forestier en croissance (m ² /ha)							
Nbr tiges/ha	1 295	1 289	4				1
Nb semenciers	224	224					

Essences	Dénombrement (tig/ha)			Coefficient de distribution (%)		
	Basse régénération	Gaules	Total	Basse régénération	Gaules	Total

Remarques

PRESCRIPTION SYLVICOLE							
Traitement prescrit	EC	Composition visée	EP				
Patron de récolte	MIXTE	Année d'intervention	2017-2018				
Mode d'application	NEUTRE	Gradient d'intensité	Intensif				
Code RATF							
Numéro de la directive de martelage		DM_2016_01152_EC_16942					
Scénario prévu		EC 2 + CPI RL					
Volume de récolte brut estimé (m ³ /ha) :	TOTAL	SEPM	THO	AUR	FI	FPT	FT
	57	56	0				0

Critères à respecter	%		ST prélevée (m ² /ha)		ST résiduelle (m ² /ha)	
	min	max	min	max	min	max
Prélèvement-cible :	30%		9.6		22.3	
	25%	35%	8.0	11.2	23.9	20.7
Prélèvement - CF :	N/A	N/A	N/A	N/A	23.2	
	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Prélèvement - CFC :	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A



PRESCRIPTION SYLVICOLE (suite)

Ordre de prélèvement :

No d'ordre	Esence ou groupe d'essence	Diamètre de récolte (cm)	Autres éléments (vigueur, etc.)
1	S/O	10 cm et +	Tiges martelées négativement (orange)

Modalités de récolte

Nombre de semencier cible :

Cible (t/ha)
S/O

min	max
-	-

Caractéristiques des trouées :

Dimension (m ²)
S/O
Nombre / ha
S/O

min	max
-	-
min	max
-	-

Sentiers de débardage :

Sans restriction
Espacement (m)
S/O
Largeur maximale (m)
4.0

min	S/O
min	S/O

max	S/O
max	4.0

Largeur maximale déboisement (tangente au dhp de chaque arbre bordant le sentier) entre les arbres de part et d'autre du sentier (m)
4.5

min	S/O
min	S/O

max	S/O
max	S/O

Régénération :

Sans restriction
Bois court
X
Tronc entier
Arbre entier

Disposition des résidus de façonnage :

Sans restriction
Sur le terrain
X
Dans les sentiers
X
Dans les trouées
À la souche
En bordure de chemin

Période de récolte :

Juillet	(début) à	Mars	(fin)	Sans restriction
---------	-----------	------	-------	------------------

Caractéristiques des bandes récoltées :

Largeur des bandes entièrement récoltées (m)	min	S/O	max	4.5
Largeur des bandes partiellement récoltées (m)	min	16.0	max	S/O
Largeur des bandes non récoltées (m)	min	S/O	max	S/O
Orientation des bandes	S/O			

Autres critères :

Critères d'évaluation	Indicateur	Méthode de mesure	Cible (seuil, intervalle)
Blessures aux tiges résiduelles	% surface terrière tiges blessées	Parcelle 11.28 m de	moins de 5 %
Largeur maximale du déboisement entre les arbres de part et d'autre du sentier (m)	Distance entre les tangentes des arbres au DHP bordant le sentier	Transect de 60 m vers la gauche de l'observateur qui tourne le dos au chemin et perpendiculaire aux sentiers de débardage (à partir du centre de la parcelle 11.28 m) - Évaluer deux sentiers et deux interbandes	< 4,5 m
Prélèvement des tiges martelées négativement	% des tiges martelées	Parcelle 11.28 m de rayon	≥ 95 %



Numéro de VOIC:

--	--	--	--

Directives particulières relatives aux opérations de récolte et informations additionnelles

- L'exécutant devra protéger les tiges martelées positivement (arbres élités martelé en bleu)
Utiliser les sentiers de la 1ere éclaircie. Les sentiers sont rubannés avec du ruban orangé rayé noir

Remarques

- La bande de protection de 20 m le long des cours d'eau permanents ne devra pas faire l'objet de récolte. Les bandes protectrices (20 m) des ruisseaux permanents cartographiés ont été retirées de la planification. Si les cours d'eau identifiés sur la carte sont intermittents, la récolte devra être réalisée jusqu'en bordure du ruisseau, et ce, sans passage de la machinerie dans les 6 m le long de celui-ci.
- En présence de sols mal drainés, minces ou fragiles, des mesures de protection doivent être utilisées (pneus à grande capacité portante, disposition de branches dans les sentiers, etc.).

RESPECT DES MESURES D'HARMONISATION

Numéro de mesure	Critères d'évaluation	Indicateur	Méthode de mesure	Cible (seuil, intervalle)

RESPECT DES AUTRES OBJECTIFS

Numéro de mesure	Critères d'évaluation	Indicateur	Méthode de mesure	Cible (seuil, intervalle)

ATTESTATION ET SIGNATURE

L'analyse des résultats d'inventaire, ou toute autre source d'information pertinente, la compilation des données, l'élaboration de la prescription sylvicole, l'élaboration de la directive de martelage et l'élaboration de la directive d'opération ont été effectuées sous ma responsabilité ou ma supervision dans le respect des lois et des règlements en vigueur et à partir de la stratégie d'aménagement retenue par le Ministre.

Signature **Éric GIROUARD**

Signature numérique de Éric GIROUARD
DN: cn=CA, b=QC, ou=GOV, o=RCR, ou=SCCC, ou=CLIENT, ou=Éric GIROUARD, email=eric.girouard@mffp.gouv.qc.ca

Nom Permis Date

A également contribué à l'élaboration de ce document, par l'apport de son expertise et de ses résultats

Nom Permis Date

Nom Permis Date

Éléments sous la responsabilité de ce ou ces dernier(s)

--

Cette prescription est valide jusqu'au

(AAAA/MM/JJ)



No directive DM_2016_01152_EC_16942

No prescription PS_2016_01152_EC_16942

Complété par : Eric Girouard

Date 2017-04-20

Directive de martelage

Martelage Négatif Positif

Directive

Description:

Martelage positif arbre élite

Essences recherchées	EPB - EPN	EPO	THO
Priorité de récolte	Classe "R" ou "C"		
Diamètre (DHP) des arbres élites	20 cm à 30 cm		
Nbr arbre élite/ha	200 (+ ou - 25 arbres)		

Note:

- Directive pour le martelage positif des arbres élites

- Arbre élite d'essences EPB, EPN ou EPO (dans cet ordre) avec les qualités suivantes :
 - i) devra être dans la même classe d'âge que celle du peuplement;
 - ii) être dans une classe de diamètre qui est supérieure à la moyenne du peuplement (voir prescription);
 - iii) être parmi la classe sociale des dominants ou codominants;
 - iv) être de bonne vigueur;
 - v) avoir un fût rectiligne sans défauts majeurs;
 - vi) une cime vivante entre 40 et 60 % de la hauteur totale de l'arbre.
- Localisé à l'extérieur des sentiers (à plus de 2,5 mètres du ruban orange rayé noir du centre des sentiers)
- Espacement entre les arbres élites de 7 mètres avec un minimum de 4 mètres.
- Pour le martelage, faire un cercle autour du tronc de couleur bleu à la hauteur du DHP

- Directive pour le rubannage des sentiers

- Les sentiers doivent être rubannés avant le martelage si ils sont difficilement repérable
- Le rubannage des sentiers doit se faire au même endroit que lors de la 1ere éclaircie à l'aide de ruban de couleur "orange rayé noir"

Attestation et signature

Signature Éric GIROUARD

Nom Permis 90025 Date

Cette directive est valide jusqu'au 2018-12-31
(AAAA/MM/JJ)

Signature numérique de Éric GIROUARD
DN : c=CA, l=QC, o=GOUV, ou=ICP, ou=SGCC2, ou=CLIENT, cn=Éric GIROUARD,
serialNumber=02FE-001-03FE
Date : 2017.04.20 11:05:29 -04'00'



ANNEXE 3 – PRESCRIPTION SYLVICOLE ET DIRECTIVES DE MARTELAGE POUR L'ÉCLAIRCIE PAR LE BAS AVEC ESPACEMENT

Ministère des Forêts,
de la Faune
et des Parcs

Québec

Prescription sylvicole pour entente de récolte et permis

No prescription

PS_2016_01152_EC_16042

IDENTIFICATION		
Secteur d'intervention	Chantier	Superficie (ha)
EC_BEAZ_1642	LAC BEAZLEY	41.7
Total:		41.7

Version	1
Unité compilation	16042
Unité d'aménagement	01152

DIAGNOSTIC							
Description dendrométrique				Année d'inventaire			
				2016			
	TOTAL	SEPM	THO	AUR	FI	FPT	FT
Volume marchand brut (m ³ /ha)	189	188	1				0
DHP moyen (cm)	17.7	17.7	24.2				16.0
Volume tige (dm ³)	146	146	247				100
Surface terrière (m ² /ha)	31.9	31.7	0.2				0.0
Capital forestier (m ² /ha)	23.2	23.2					0.0
Capital forestier en croissance (m ² /ha)							
Nbr tiges/ha	1 295	1 289	4				1
Nb semenciers	224	224					

Essences	Dénombrement (tig/ha)			Coefficient de distribution (%)		
	Basse régénération	Gaules	Total	Basse régénération	Gaules	Total

Remarques

PRESCRIPTION SYLVICOLE							
Traitement prescrit	EC	Composition visée	EP				
Patron de récolte	SÉLECTIVE	Année d'intervention	2017-2018				
Mode d'application	BAS	Gradient d'intensité	Intensif				
Code RATF	ECSELBASSF						
Numéro de la directive de martelage	S/O						
Scénario prévu	CPRS_126						
Volume de récolte brut estimé (m ³ /ha) :	TOTAL	SEPM	THO	AUR	FI	FPT	FT
	47	47	0				0

Critères à respecter	%		ST prélevée (m ² /ha)		ST résiduelle (m ² /ha)	
	min	max	min	max	min	max
Prélèvement-cible :	25%		8.0		23.9	
	23%	29%	7.3	9.3	24.6	22.7
Prélèvement - CF :	%		ST prélevée (m ² /ha)		ST résiduelle (m ² /ha)	
	min	max	min	max	min	max
	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Prélèvement - CFC :	%		ST prélevée (m ² /ha)		ST résiduelle (m ² /ha)	
	min	max	min	max	min	max
	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A



PRESCRIPTION SYLVICOLE (suite)

Ordre de prélèvement :

No d'ordre	Esence ou groupe d'essence	Diamètre de récolte (cm)	Autres éléments (vigueur, etc.)
1	Peu	10 cm et +	Récolter en priorité les tiges visiblement défectueuses ou peu vigoureuses selon l'ordre établi
2	Err	10 cm et +	
3	Bop	10 cm et +	
4	Sab	10 cm et +	
5	Epx	10 cm et +	

Modalités de récolte

Nombre de semencier cible :

Cible (ti/ha)	min	max
S/O	-	-

Caractéristiques des trouées :

Dimension (m ²)	min	max
S/O	-	-
Nombre / ha	min	max
S/O	-	-

Sentiers de débardage :

Sans restriction	min	S/O	max	S/O
Espacement (m)	min	S/O	max	S/O
Largueur maximale (m)	min	S/O	max	4.0
Largueur maximale déboisement (tangente au dhp de chaque arbre bordant le sentier) entre les arbres de part et d'autre du sentier (m)	4.5	S/O	4.0	4.0
Régénération: Taux de protection (%)	min	S/O	max	S/O

Procédé de récolte :

Sans restriction	Disposition des résidus de façonnage :	Sans restriction
Bols court	Sur le terrain	X
Tronc entier	Dans les sentiers	X
Arbre entier	Dans les trouées	
	À la souche	
	En bordure de chemin	

Période de récolte :

Juillet	(début) à	Mars	(fin)	Sans restriction
---------	-----------	------	-------	------------------

Caractéristiques des bandes récoltées :

Largueur des bandes entièrement récoltées (m)	min	S/O	max	4.5
Largueur des bandes partiellement récoltées (m)	min	16.0	max	S/O
Largueur des bandes non récoltées (m)	min	S/O	max	S/O
Orientation des bandes	S/O			

Autres critères:

Critères d'évaluation	Indicateur	Méthode de mesure	Cible (seuil, intervalle)
Blessures aux tiges résiduelles	% surface terrière tiges blessées	Parcelle 11.28 m de	moins de 5 %
Diamètre des tiges EPx après traitement	Ratio diamètre moyen des EPx après traitement par rapport au diamètre moyen avant traitement	Parcelle 11.28 m de rayon	≥ 1,01
Proportion des sentiers de débardage	% de la surface («track» à «track»)	transsect de 60 m vers la gauche de l'observateur qui tourne le dos au chemin et perpendiculaire aux sentiers de débardage (à partir du centre de la parcelle 11.28 m) - Évaluer deux sentiers et deux interbandes par parcelle	≤ 15 %

Largeur maximale du déboisement entre les arbres de part et d'autre du sentier (m)	Distance entre les tangentes des arbres au DHP bordant le sentier	Transect de 60 m vers la gauche de l'observateur qui tourne le dos au chemin et perpendiculaire aux sentiers de débardage (à partir du centre de la parcelle 11.28 m) - Évaluer deux sentiers et deux interbandes	< 4,5 m
Respect de la directive opérationnelle sur le choix des tiges récoltées	% de mauvais choix de tiges	Parcelle 11.28 m de rayon	≤ 15 %

Numéro de VOIC:

--	--	--	--	--

Directives particulières relatives aux opérations de récolte et informations additionnelles

• **L'exécutant devra récolter en appliquant la directive suivante :**

Récolter une tige sur trois entre les sentiers (cette information est donnée à titre indicatif, le prélèvement total a préséance sur cet élément) selon l'ordre suivant :

- 1 - Respecter l'ordre de prélèvement selon l'essence : PEU > ERR > BOP > SAB > EPx
- 2 - En présence de 3 tiges d'une même essence, récolter la tige la plus défectueuse ou la moins vigoureuse
- 3 - En présence de 3 tiges d'une même essence et de qualité égale, récolter la plus petite tige

Le prélèvement doit être uniformément réparti dans la matrice résiduelle. De plus, le prélèvement ne doit pas être fait de façon linéaire ou de manière à créer une trouée.

• **Directive pour le rubannage des sentiers**

- Obligation d'utiliser les sentiers créés lors de la première éclaircie.
- Si les sentiers sont espacés de plus de 22 m (centre à centre), la récolte doit se faire en allongeant au maximum le bras de l'abateuse.

Note : ne pas couper les tiges d'essences non commerciales à l'extérieur des sentiers (biodiversité).

Définition d'un mauvais choix de tige :

- 1- L'ordre de prélèvement n'est pas respecté (maximum de 2 fautes pour une tige visée si plusieurs tiges moins prioritaires sont récoltées dans l'environnement immédiat de l'essence inadéquate)
- 2- Pour une même essence, la tige de bonne qualité est prélevée à la place de la tige de mauvaise qualité
- 3- À essence et qualité égales, la grosse tige est prélevée à la place de la plus petite
- 4- Trois tiges récoltées en ligne (même rangée de plantation)
- 5- Aux endroits où le prélèvement semble faible, il y a faute lorsqu'il n'y a pas au moins 1 tige qui est prélevée par tranche de 6 tiges regroupées

Remarques

- La bande de protection de 20 m le long des cours d'eau permanents ne devra pas faire l'objet de récolte. Les bandes protectrices (20 m) des ruisseaux permanents cartographiés ont été retirées de la planification. Si les cours d'eau identifiés sur la carte sont intermittents, la récolte devra être réalisée jusqu'en bordure du ruisseau, et ce, sans passage de la
- En présence de sols mal drainés, minces ou fragiles, des mesures de protection doivent être utilisées (pneus à grande capacité portante, disposition de branches dans les sentiers, etc.).

RESPECT DES MESURES D'HARMONISATION

Numéro de mesure	Critères d'évaluation	Indicateur	Méthode de mesure	Cible (seuil, intervalle)

RESPECT DES AUTRES OBJECTIFS

Numéro de mesure	Critères d'évaluation	Indicateur	Méthode de mesure	Cible (seuil, intervalle)

ATTESTATION ET SIGNATURE

L'analyse des résultats d'inventaire, ou toute autre source d'information pertinente, la compilation des données, l'élaboration de la prescription sylvicole, l'élaboration de la directive de martelage et l'élaboration de la directive d'opération ont été effectuées sous ma responsabilité ou ma supervision dans le respect des lois et des règlements en vigueur et à partir de la stratégie d'aménagement retenue par le Ministre.

Signature **Éric GIROUARD**

Signature numérique de Éric GIROUARD
CSC: c=CA, o=CQ, ou=QRC, ou=QRC, ou=SCC2, ou=CLIENT, ou=Éric GIROUARD, serialNumber=02E-003-02E
Date: 2017.04.19 11:02:53 -0400

Nom Permis Date

A également contribué à l'élaboration de ce document, par l'apport de son expertise et de ses résultats

Nom Permis Date

Nom Permis Date

Éléments sous la responsabilité de ce ou ces dernier(s)

Cette prescription est valide jusqu'au (AAAA/MM/JJ)

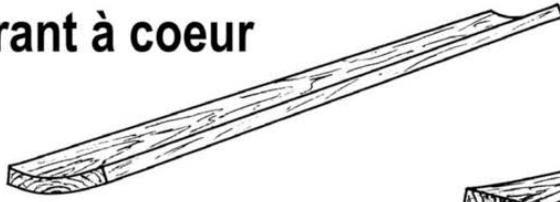


ANNEXE 4 – LISTE DE PRIX DE VENTE UTILISÉE POUR LE CALCUL DES RENDEMENTS EN FONCTION DES LONGUEURS NOMINALES, DIMENSIONS ORIGINALES, DES CLASSES DE DIMENSION ET DES QUALITÉS

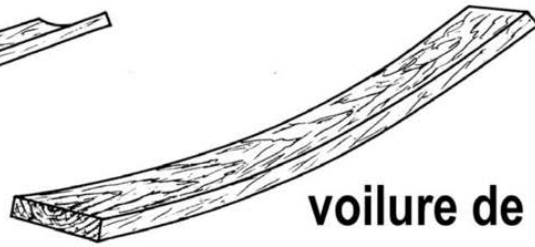
Dimensions originales	Classes de dimensions	Qualités	Longueurs nominales (pi) et classes								
			5	6	7	8	9	10	12	14	16
			< 8 pi			8-9 pi		≥ 10 pi			
1x3	≤ 2x3	Utilité & Meilleur	240	240	240	470		470	525	525	630
1x4			280	280	325	475		475	535	590	665
1x6			280	280	300	525		525	565	570	590
2x3		#2	240	285	295	490	480	500	555	575	590
		#3			310	310	310	320	330	340	
2x4		2x4	Premium							630	675
	#2		245	310	465	510	465	495	545	610	630
	#3				355	360	340	355	410	420	430
2x6	2x6	Premium									750
		#2	260	280	425	615	610	675	675	640	715
		#3			360	370	365	400	410	420	425

ANNEXE 5 – TYPES DE DÉFORMATIONS LORS DU SÉCHAGE

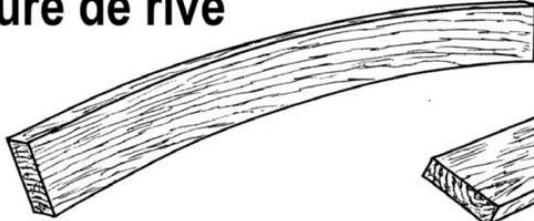
tirant à coeur



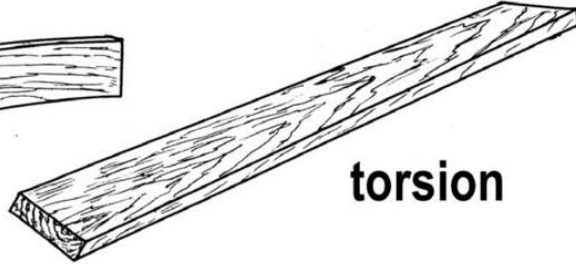
voilure de face



voilure de rive



torsion



Tiré de Normand (2006)

ANNEXE 6 – ÉTAPES DE SÉCHAGE EN FONCTION DE L'HUMIDITÉ, DE LA TEMPÉRATURE ET DU TEMPS

Les étapes du séchage ont été menées en fonction d'un programme à moyenne température tenant compte du temps de réchauffement, de l'équilibrage, du conditionnement et du séchage proprement dit. Le suivi du séchage s'est réalisé principalement à partir des données de teneur en humidité moyenne et de sa distribution obtenue par la technique des pesées périodiques des planches témoins. Un lestage a été réalisé à l'aide de blocs de béton équivalent à 50 lb/pi² pour empêcher les premières rangées de se déformer (photos). Même si le séchoir peut être opéré de façon automatique, les changements d'étapes furent effectués manuellement de manière à s'assurer que ceux-ci se fassent au moment opportun.

Étape	H (%)	Ts (°F)	Th (°F)	H_équi (%)	Temps (h)
Montée en température	---	140,0	136,4	18,1	2
Séchage > PSF	> 60	140,0	134,6	15,9	---
	60-30	149,9	140,0	12,1	---
Séchage < PSF	30-20	158,0	141,8	9,2	---
	20-15	179,6	153,9	6,5	---
Équilibrage	15-12	179,6	134,2	4,0	---
Conditionnement	---	179,6	158,2	7,4	15
Refroidissement	---	179,6	168,6	11,0	4
	---	40	---	---	---

Séchage



Crédit photos : SEREX

ANNEXE 7 – NOMBRE DE PMP/HA GÉNÉRÉ PAR MODALITÉ D'ÉCLAIRCIE ET TYPE DE PIÈCE POUR CHAQUE SCÉNARIO DE SIMULATION DE SCIAGE

		Procédé de débitage				
Éclaircie	Type de pièce	Classe de longueur	Colombage optimisé		Charpente claire de structure optimisée	
			pmp/ha	écart-type	pmp/ha	écart-type
aé200	≤ 2 x 3	< 8 pi	317	218	134	117
		8-9 pi	1120	717	205	163
		≥ 10 pi	0	0	659	472
	2 x 4	< 8 pi	144	131	66	102
		8-9 pi	2415	1434	236	172
		≥ 10 pi	0	0	2110	1521
	2 x 6	< 8 pi	65	59	0	0
		8-9 pi	784	444	7	13
		≥ 10 pi	0	0	797	737
Total			4844		4212	Moyenne 4528
ecbas	≤ 2 x 3	< 8 pi	305	189	140	68
		8-9 pi	1594	604	268	154
		≥ 10 pi	0	0	862	357
	2 x 4	< 8 pi	56	50	84	59
		8-9 pi	2062	723	263	220
		≥ 10 pi	0	0	2474	832
	2 x 6	< 8 pi	120	91	0	0
		8-9 pi	1176	1076	0	0
		≥ 10 pi	0	0	996	1079
Total			5310		5085	Moyenne 5198

ANNEXE 8 – VALEUR MOYENNE (\$CAN2017) DES ARBRES RÉCOLTÉS POUR L'ANALYSE DU PANIER DE PRODUITS PAR MODALITÉ D'ÉCLAIRCIE ET PAR CLASSE DE DHP

dhp	Éclaircie		
	aé200	ecbas	témoin
	(\$/tige) n=129	(\$/tige) n=93	(\$/tige) n=25
10	3,0	7,3	-
12	5,9	7,5	7,9
14	10,4	11,0	6,5
16	14,8	15,9	11,7
18	20,2	27,3	14,8
20	26,8	28,9	20,7
22	33,7	33,3	14,5
24	49,8	49,8	-
26	62,4	74,0	-
28	67,9	84,0	-