



Optimisation de la densité de reboisement en fonction des grades de qualité des bois sciés

Proposé de recherche

UNIVERSITÉ Laval
FACULTÉ DE FORESTERIE, DE GÉOGRAPHIE ET DE GÉOMATIQUE

Auteur :
Thomas Dandliker

Superviseurs :
Alexis Achim
Charles Ward

Table des matières

1	Introduction	3
1.1	Forte densité <i>versus</i> faible densité de plantation	3
1.2	Panier de produits	4
1.3	Branchaison <i>versus</i> qualité des bois sciés	5
1.4	Objectifs de l'étude	6
1.5	Hypothèse	6
2	Matériels et méthodes	7
2.1	Aire d'étude	7
2.2	Mesures de branches	8
2.2.1	Critères de sélection des tiges	8
2.2.2	Sélection des tiges dans les placettes	9
2.2.3	Mesures à l'échelle de l'arbre	11
2.2.4	Protocole	13
2.2.5	Analyse statistique	15
2.3	Modélisation du défilement et de la composition du panier de produits	16
3	Résultats escomptés	16
4	Conclusion	17
5	Échéancier	18

Table des figures

1	Essences plantées entre 2001 et 2012 au Québec	3
2	Nombre de tige par ha d'Epб mortes ou supprimées avant la première éclaircie [1]	4
3	Localisation des plantations à mesurer pour 2018-2019	7
4	Liste des défauts visuels impactant le premier 16 pieds	9
5	Étages d'arbres vivants sur pied d'essences commerciales	10
6	Priorité de sélection des arbres pour la classification des branches	11
7	Division de la circonférence de la bille de pied en quatre faces égales	12
8	Code de branche en fonction du diamètre de la branche	12
9	Dimension maximale (po) du nœud de rive classement NLGA 2000	13
10	Détermination de la hauteur de 5,23 m	14
11	Interface DendroDif	15
12	Gabarit métallique	15
13	Calendrier des activités	18

1 Introduction

Les forêts issues de plantation comptent pour 4% des forêts mondiales, mais fournissent, à elles seules, 50% de la production de bois [2]. Précisons qu'au Québec, pour la période de 2001 à 2012, avec environ 120 millions de plants plantés annuellement, les résineux représentent presque la totalité des plantations de la province, soit 98% [3]. Depuis 2001, 94% des plantations y sont réalisées avec trois essences : l'épinette noire 56% (*Picea mariana* (Mill.)), le pin gris 21% (*Pinus banksiana* (Lamb.)) et l'épinette blanche 17% (*Picea glauca*), comme l'illustre la figure 1 :

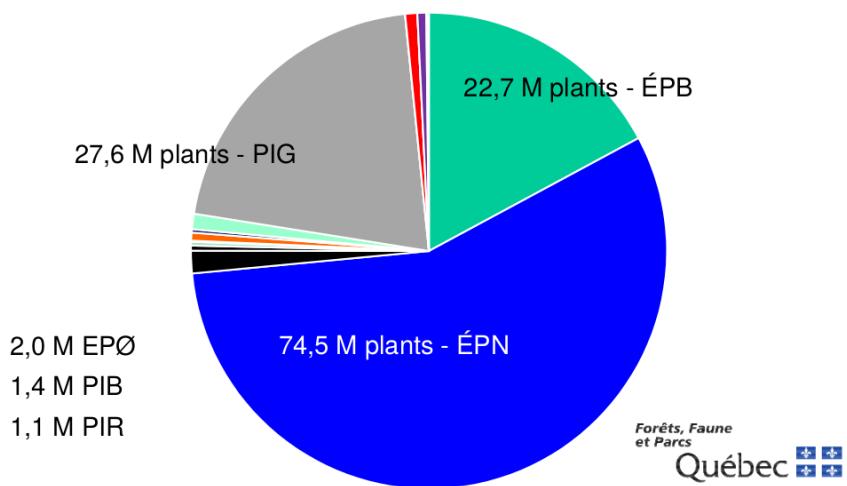


FIGURE 1 – Essences plantées entre 2001 et 2012 au Québec

Ces trois essences font partie du groupe dit SEPM (Sapin, Épinettes, Pins, Mélèzes), qui constitue la majeure partie des volumes de bois récoltés et transformés au Québec. Ce groupe est à la base de l'approvisionnement des usines produisant du sciage [4]. Dans un marché globalisé, cela implique d'optimiser les procédés qui englobent toutes la chaîne de valeur du bois, y compris les scénarios sylvicoles [5].

1.1 Forte densité *versus* faible densité de plantation

Dans ce cadre de rationnalisation, la densité de plantation est un outil de grande influence en sylviculture, puisqu'elle détermine la croissance et les caractéristiques du peuplement [6]. Il est à noter que la hauteur dominante - une de ces caractéristiques - n'est généralement pas influencée par l'espacement entre les tiges [7]. En revanche, lorsque le nombre de tiges par hectare augmente, on a pu observer des augmentations du volume total et de la surface terrière, et, dans le même temps, une diminution du diamètre quadratique moyen. Il est ainsi

reconnu que le DHP d'un arbre est étroitement lié à la densité de plantation [8]. De plus, en densité élevée, la mortalité y est aussi plus forte, due à une compétition intraspécifique plus élevée [9, 10]. À l'inverse, à plus faible densité de plantation, on constate un meilleur taux de survie, ainsi qu'une plus forte croissance en diamètre et en volume par tige [11]. À cela, on constate une gradation du taux de survie en fonction de l'indice de qualité de station (IQS) pour l'épinette blanche [1]. Plus la fertilité augmente la mortalité s'accentue.

Nombre de tige par ha d'Epб morte ou supprimée avant la première EC ¹				
Densité reboisée	IQS8	IQS10	IQS12	IQS14
2500	496	743	952	1161
2000	253	485	681	858
1600	121	335	510	658

FIGURE 2 – Nombre de tige par ha d'Epб mortes ou supprimées avant la première éclaircie [1]

À faible densité de plantation, on observe également une augmentation du défilement (conicité). Ce dernier aspect a une incidence directe sur le volume marchand des tiges. En effet, pour un même diamètre donné, un fort défilement diminue le volume marchand à l'échelle de l'arbre [8]. Mais en parallèle, un des avantages de cette faible densité est une croissance radiale plus rapide ; ce qui permet de transformer une plus forte proportion du volume en planche [12]. D'où la nécessité de rechercher un *optimum*, entre un défilement acceptable et un bon accroissement diamétral.

Ainsi, trois facteurs entrent en compte lors de la première transformation d'un arbre : le diamètre, la hauteur totale et le défilement. Ces trois caractéristiques influent sur la composition du panier de produits sciés [12], comme par exemple la proportion de sciage.

1.2 Panier de produits

Dans un contexte de marché de plus en plus compétitif, et où les coûts d'extraction pour la ressource et la fabrication des produits du bois augmentent, il devient primordial de maximiser la création de valeur lors de la première transformation [13, 14]. Cela est particulièrement pertinent dans la forêt boréale de l'est du Canada, puisque le petit diamètre des

tiges récoltées limite les dimensions du bois d'œuvre. Depuis plusieurs décennies, des simulateurs informatiques de sciages sont utilisés dans le secteur des transformations primaire et secondaire comme stratégie d'optimisation de la valeur des produits [15]. Certaines études ont intégré avec succès les variabilités de la taille des arbres (tels que le diamètre de la tige, la hauteur totale de l'arbre ou la conicité de la tige) dans des modèles permettant de prédire le volume ou la valeur lors du processus de transformation [16, 17].

Par ailleurs, l'accroissement plus élevé que l'on constate en plantation modifie les caractéristiques du bois et, de ce fait, a un effet déterminant quant à la valeur et à l'utilisation finale du produit [18]. Une manière d'attribuer une valeur pour les résineux consiste à effectuer un classement visuel des bois sciés comme le fait la norme "National Lumber Grades Authority (NLGA)". Elle indique que les noeuds (branches), précisément leurs tailles et leurs nombres, sont des caractéristiques importantes à prendre en considération lors du classement des bois sciés [19].

1.3 Branchaison *versus* qualité des bois sciés

L'espacement initial a un effet déterminant sur les coûts d'établissement de la régénération, sur la croissance des arbres et sur le rendement du peuplement. En détail, la densité de plantation affecte la structure de la couronne, la taille de la branche ainsi que les caractéristiques du bois produit. Par conséquent, les décisions relatives à l'espacement initial impacteront non seulement la valeur du peuplement et le retour sur investissement, mais aussi la qualité des produits issus de la plantation.

Sachant que la première partie de la bille est la plus rémunératrice, c'est aussi elle qui contient certains défauts de déclassement de la qualité des bois sciés, notamment, les branches grosses et mortes. Pour le pin gris et l'épinette blanche, l'espacement des plantations a un effet significatif sur le diamètre de la plus grosse branche de l'arbre, et a en outre tendance à augmenter la grosseur des noeuds [20, 21]. Dans l'ordre, la densité de plantation influe le DHP ; le DHP influe ensuite sur les caractéristiques des branches. En suivant ce raisonnement, le sylviculteur peut agir sur la branchaison en remontant à l'origine, c'est-à-dire en choisissant la densité de plantation.

Ainsi, les attributs des noeuds peuvent être prédits pour le pin gris et l'épinette noire à partir d'observations visuelles des branches, notamment leurs grosses [22]. De plus, pour un site donné, les propriétés des noeuds d'épinette noire sont relativement peu sensibles à l'espacement des arbres, car elles sont largement expliquées par la taille du fût ainsi que celle du houppier [23, 24]. Cela est également observé sur l'épinette de Norvège en Scandinavie

[25–27]. Enfin, le diamètre de la plus grande branche est positivement corrélé au DHP de l’arbre, quel que soit l’espacement entre les arbres [20, 28].

Donc, aux vues de ces connaissances, le sylviculteur a une réelle emprise sur la qualité du bois dès sa première décision, qui est celle de choisir la densité de plantation. D’une part, un espacement initial élevé aura l’avantage de stimuler la croissance diamétrale des tiges, ce qui favorisera la production de bois de sciage sur de plus courtes révolutions. D’autre part, le défilement plus élevé et la taille plus élevées des nœuds qui découlent de tels espacements initiaux est susceptible de diminuer le rendement en sciage, leur grade de qualité, et donc la valeur des bois produits. Les sylviculteurs québécois n’ont présentement pas d’outils à leur disposition leur permettant d’évaluer où se situe l’*optimum* d’espacement initial qui maximiserait la valeur des bois produits.

1.4 Objectifs de l’étude

Les études menées préalablement sur les branches sont, pour l’instant, toutes limitées à un site en particulier avec des conditions de croissance bien définies (indice de qualité de station, précipitation, température, etc.). De surcroît, les études évaluant la proportion de sciage proviennent de jeunes peuplements résineux qui ne sont pas encore arrivés à maturité, donc n’ayant pas suivi un scénario sylvicole complet - avec ou sans éclaircies. Pour pallier le manque d’un portrait plus général, la présente étude s’appuie sur un réseau de placettes permanentes établies dans des plantations s’approchant de la maturité à l’échelle de la province du Québec, ce qui permettra de couvrir de nombreux types de stations ayant des conditions de croissance différentes.

Le présent projet vise à établir un lien entre la future qualité du bois scié et la croissance des arbres à différents espacements pour trois espèces commerciales du Canada, soit l’épinette noire, l’épinette blanche et le pin gris. L’objectif précis de l’étude est alors d’évaluer l’effet de différents espacements sur les propriétés du bois d’arbres arrivés à maturité. Plus particulièrement, nous avons cherché à déterminer si une réponse positive du DHP à un espacement plus grand affecterait le classement du bois et la proportion de sciage.

1.5 Hypothèse

Nous avons émis l’hypothèse qu’une densité de reboisement plus faible que celui appliquée présentement au Québec, soit 2 m, augmenterait le diamètre à l’échelle de l’arbre, ce qui augmenterait le rendement en sciage sans diminuer outre mesure le classement des sciages.

Cette hypothèse implique donc que l'*optimum* de rendement en valeur des produits se situerait à un espacement initial inférieur à celui utilisé en ce moment.

2 Matériels et méthodes

2.1 Aire d'étude

L'expérience sera réalisée à l'échelle de la province du Québec et elle mettra à profit le réseau des placettes permanentes de la Direction de la Recherche Forestière (DRF). Le Service de la sylviculture et du rendement des forêts (SSRF) dispose en effet d'un programme de suivi des plantations s'intitulant "Effets réels des traitements sylvicoles en plantations". Ce programme qui vise à modéliser la croissance et le rendement des plantations s'appuie sur plus de 500 placettes. Tous les cinq ans, on y mesure différentes caractéristiques du peuplement et des arbres. Dans le cadre de cette étude, les essences étudiées sont l'épinette noire, l'épinette blanche et le pin gris. Des mesures préliminaires ont été prises durant l'été et l'automne 2018 ; elles seront complétées au printemps et à l'été 2019 dans une centaine de plantations monospécifiques. L'ensemble des plantations ont été établies en 1986 avec des plants produits à racines nues et à des densités de reboisement variant de 1111 à 4444 plants à l'hectare. Tous les arbres sont âgées de 32 ans au moment de la prise de mesures. De plus, toutes les plantations sélectionnées n'ont subi aucune éclaircie précommercial. Au total, 174 placettes seront mesurées parmi le réseau des placettes permanentes (Figure 3). La sélection des placettes demeure à préciser.

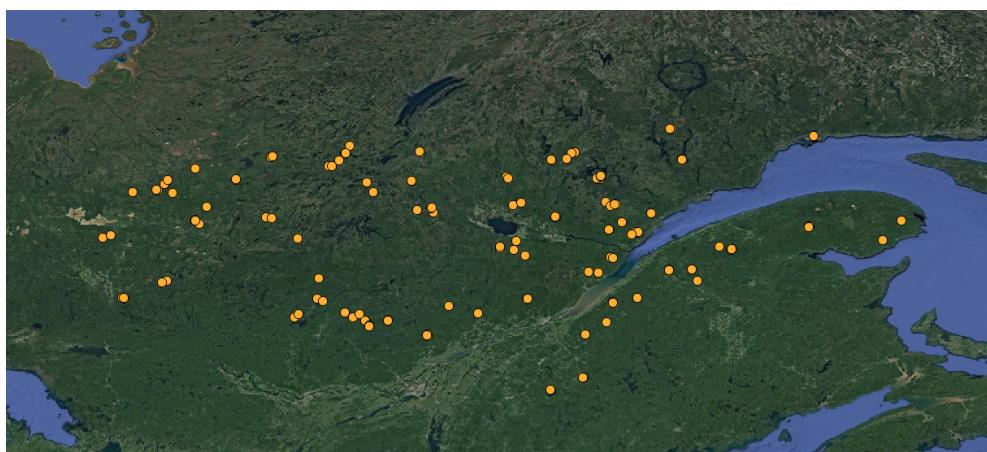


FIGURE 3 – Localisation des plantations à mesurer pour 2018-2019

Les placettes permanentes utilisées sont des unités d'échantillonnage circulaires d'une superficie de 400 m² [29]. À son cinquième cycle de mesurage en 2018, le protocole d'inventaire

existant a été modifié pour inclure des mesures de branches. Les données suivantes seront relevées sur les arbres : l'essence de l'arbre, le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) et les caractéristiques de la plus grosse branche sur les cinq premiers mètres de la tige.

2.2 Mesures de branches

2.2.1 Critères de sélection des tiges

L'objectif premier est de pouvoir sélectionner des tiges qui sont prédisposées à perdurer dans le peuplement jusqu'à la fin d'un scénario sylvicole. Pour rappel, les plantations sélectionnées dans cette étude n'ont pas encore été traitées. Pour prendre en compte les futurs éclaircies à venir dans la sélection des tiges, une éclaircie "fictive" est simulée. Les critères de sélection de cette intervention sont essentiellement le DHP, la présence de maladies et de défauts.

Au niveau dendrométrique, il a été convenu que les tiges actuelles doivent avoir un DHP supérieur au DHP moyen. Ce critère permet de soustraire les tiges opprimées et intermédiaires qui n'ont pas de chance de se développer à leur plein potentiel à moyen et long terme.

L'aspect sanitaire est également important à prendre en considération car il peut, d'une part compromettre la survie de la tige, et d'autre part impacter négativement la croissance et la qualité interne de la bille. Les maladies et les insectes suivants ont été considérés comme préjudiciables pour la sélection des tiges :

- Rouille vésiculeuse du Pin gris ;
- Chancre ;
- Chancre hypoxylonien ;
- Chancre avec pourriture ;
- Champignons et consoles ;
- Carpophore ;
- Nodulier ;
- Perceur d'écorce ;
- Becquetage d'oiseaux.

Le dernier critère cherche à exclure les défauts visuels qui sont susceptibles de déclasser la première bille de pied, c'est-à-dire le premier 16 pieds (figure 4).

Arbre penché légèrement	Défoliation totale cime endommagée ou dépérissante
Arbre penché modérément	Déraciné
Arbre penché fortement	Fente droite
Arqué	Fente droite profonde pourriture
Baïonnette	Fente spiralée profonde
Blessure	Fente spiralée pourrie
Blessure par un animal (porc-épic) ou insecte	Fente ou bosse cariée-tige
Bouquet tiges de plus de 1,3m	Fourche
Bossu	Fourche-tige
Branches adventives-tige	Gélivure-tige
Cassé	Loupe-tige
Chablis par le vent	Tête morte
Couché	Tête cassée
Courbure	Têtes multiples
Courbure au pied	Trou
Coude	Vieille blessure mécanique
Coude au pied	

FIGURE 4 – Liste des défauts visuels impactant le premier 16 pieds

2.2.2 Sélection des tiges dans les placettes

Au total, il est prévu d'inventorier 20 tiges par placette. Ce nombre a été fixé pour faire un compromis, entre, d'une part, le temps de mesurage nécessaire sur le terrain et, d'autre part, la prise en considération de la variabilité des tiges au sein du peuplement. La taille de l'échantillon n'est pas plus élevé, car il s'agit de plantation monospécifique, où l'on s'attend à une plus grande homogénéité des conditions de croissance comparativement à la forêt naturelle.

Pour atteindre les critères de sélection et le nombre de tiges à mesurer, l'étude se basera, en premier lieu, sur 10 arbres identifiés préalablement par la DRF. Il s'agit d'arbres études compris dans les étages dominants et codominants (figure 5). Ainsi, un arbre est dominant (code D sur la figure 5), lorsque sa hauteur dépasse visiblement l'espace occupé par les codominants (code C sur la figure 5). Sa cime s'étend par-dessus l'étage général du couvert principal [30]. Un codominant est un arbre qui occupe l'espace, où se trouve la majorité des hauteurs d'arbres d'un peuplement, soit approximativement supérieur aux deux tiers de la hauteur des dominants [30]. Ces 10 arbres sont répartis aléatoirement dans la placette et sont identifiés par un numéro.



FIGURE 5 – Étages d’arbres vivants sur pied d’essences commerciales

Les dix autres arbres proviendront d’une liste respectant les quatre critères de sélection. En prévision du fait que certains défaut auront apparu sur les arbres après le dernier mesurage effectué dans les placette, une liste sera construite de tous les arbres respectant les quatre critères de sélection. Cette liste servira à compléter la sélection des arbres jusqu’à une concurrence de 20 arbres et elle n’est pas triée en ordre prioritaire de sélection. Les arbres sont sélectionnés prioritairement sur la ligne à proximité du centre de la placette (ligne en rouge et pleine sur la Figure 6), suivi sur la ligne le plus vers le nord magnétique, suivi sur les lignes adjacentes jusqu’à atteindre la ligne centrale de la placette (lignes en bleu sur la Figure 6) et, si nécessaire, sur les autres lignes adjacentes à la ligne du centre et en priorisant toujours celles orientées vers le nord magnétique (lignes en jaune sur la Figure 6).

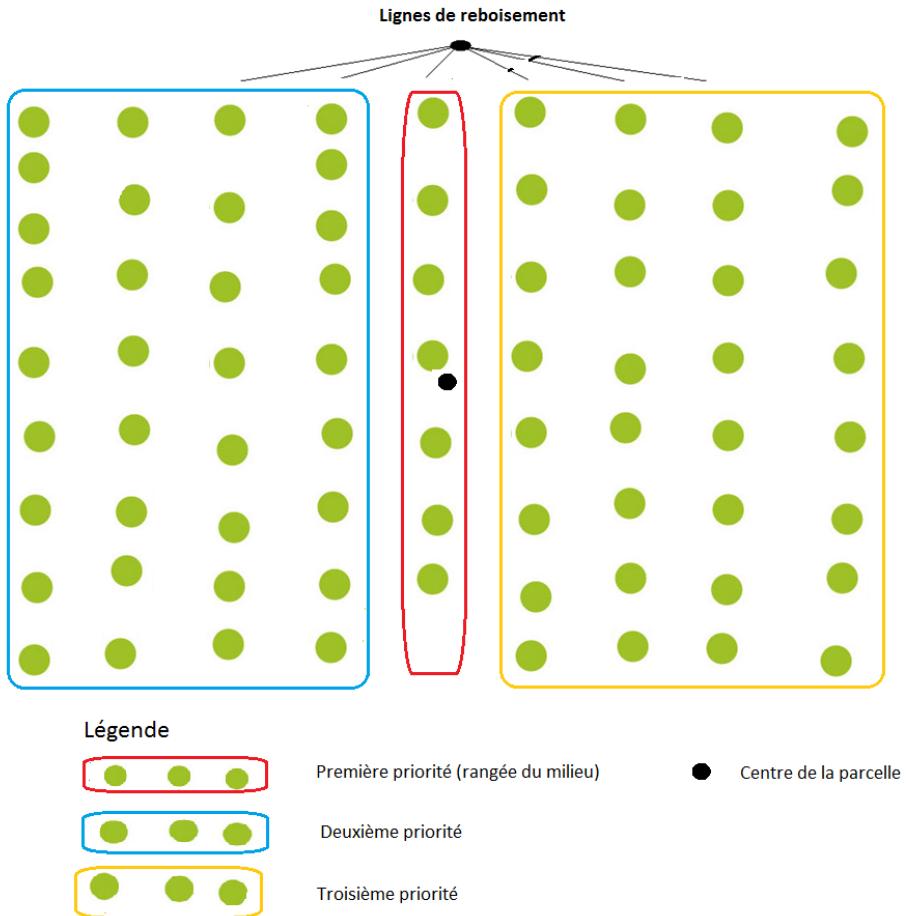


FIGURE 6 – Priorité de sélection des arbres pour la classification des branches

2.2.3 Mesures à l'échelle de l'arbre

Pour chaque arbre sélectionné, la circonférence de la bille de pied de 4,9 m (16 pieds) sera ensuite divisée en quatre faces égales (Figure 7). Les faces A et C seront alignées sur la ligne de plantation et les faces B et D seront donc perpendiculaires à la ligne de plantation. La face A sera celle orientée le plus vers le nord magnétique et elle est identifiée par un trait de peinture vertical de 10 cm, à la base du tronc, à l'aide de peinture.

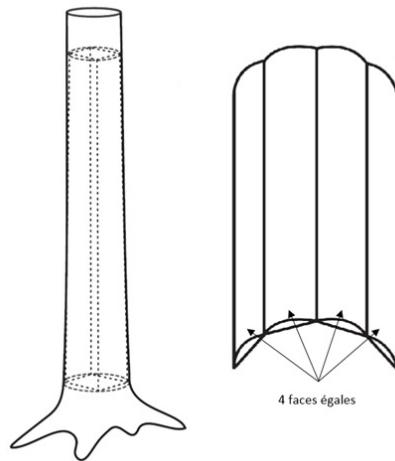


FIGURE 7 – Division de la circonference de la bille de pied en quatre faces égales

Le diamètre de la plus grande branche sera ensuite mesuré sur chacune des faces, selon les six classes suivantes :

Diamètre branche	Code de branche	Couleur sur gabarit
3/4 po	1	bleu
1 1/8 po	2	rouge
1 1/4 po	3	blanc
1 3/4 po	4	vert
1 7/8 po	5	jaune
2 3/4 po	6	blanc

FIGURE 8 – Code de branche en fonction du diamètre de la branche

Ces classes de diamètre s'appuient sur les critères de classification NLGA de la qualité des planches. Six dimensions sont retenues, celles associées aux grades sélect, No 2 et No 3 (figure 9). On peut s'abstenir des dimensions du grade No 1 car habituellement le bois est vendu No 2 et meilleur. Nous avons convenu que les orientations de reboisement seront basées sur les deux produits les plus fabriqués pour le marché nord-américain, les 2 x 4 et les 2 x 6.

Largeur nominale (po)	Solives et madriers de structure 2 à 4 po d'épaisseur				
	Sélect	No 1	No 2	No 3	Économie
	2	3/8	1/2	5/8	3/4
3	1/2	3/4	7/8	1 1/4	2 1/4
4	3/4	1	1 1/4	1 3/4	3
5		1 1/4	1 5/8	2 1/4	3 3/4
6	1 1/8	1 1/2	1 7/8	2 3/4	4 1/2
8	1 1/2	2	2 1/2	3 1/2	6
10	1 7/8	2 1/2	3 1/4	4 1/2	7 1/2
12	2 1/4	3	3 3/4	5 1/2	9
14	2 3/8	3 1/8	4 1/8	6	10 1/2
16	2 3/8	3 1/4	4 1/4	6 3/8	12
18	2 1/2	3 3/8	4 3/8	6 1/2	13 1/2

Bleu = la norme plus sévère pour les nœuds de rive est retenue

FIGURE 9 – Dimension maximale (po) du nœud de rive classement NLGA 2000

De plus, deux autres mesures seront prises sur chaque face : l'état de la branche et l'inclinaison de la branche par rapport à la tige. Ces données permettent d'avoir une caractérisation plus fine de la plus grosse branche mesurée. Si la branche est encore vivante, c'est-à-dire que les aiguilles sur la branche sont vertes ou pas, il sera possible de savoir si elle continuera de grossir dans les années subséquentes ou non. L'inclinaison de la branche quant à elle sera aussi mesurée visuellement. Plus la branche est à insertion aiguë, plus il sera probable qu'elle aura un impact sur le fil du bois et par conséquent, sur les propriétés du bois.

2.2.4 Protocole

La plus grosse branche sera sélectionnée jusqu'à une hauteur de 5,23 m (17 pieds), à partir du sol, et par la suite mesurée à l'aide du gabarit métallique. À cet effet, des perches télescopiques et du gabarit métallique (figure 12), identifiant les six classes de diamètres de branches, ont été fournies aux personnes qui réaliseront les mesures.



FIGURE 10 – Détermination de la hauteur de 5,23 m

En appliquant ce gabarit à la plus grosse branche de la bille de pied sur chaque face de l’arbre, on peut estimer le grade des planches associé à la grosseur des nœuds. Bien que cet estimé ne donne pas une réponse parfaite, nous avons convenu qu’il est suffisant pour nous guider dans nos choix sylvicoles. Cette méthode est appliquée à l’âge de la première éclaircie commerciale essentiellement à des branches mortes qui ne croiront plus.

La mesure des branches se décline comme suit :

1. Déployer la perche télescopique pour atteindre une longueur de 3,93 m. Cette longueur correspond à la longueur totale de la perche sans le gabarit. Ainsi elle débute au niveau du trait rouge présent sur le gabarit métallique (Figure 12) jusqu’à l’autre extrémité de la perche télescopique.
2. Se placer devant la face à mesurer avec la perche télescopique munie du gabarit métallique.
3. Positionner la base de la perche à 1,3 m du sol : prendre la perche télescopique par la base, et la soulever jusqu’au niveau du DHP, identifié par un trait de peinture sur l’arbre (Figure 10). Cette position permet de délimiter la hauteur totale de 5,23 m, hauteur qui sert à étudier les branches.
4. Chercher la branche la plus grosse sur la face étudiée et la mesurer à l’aide du gabarit métallique (Figure 12). Inscrire dans le formulaire Dendrodif le «code diamètre

branche» selon le tableau ci-dessus (figure 8), correspondant à la plus grosse branche. Pour chacune des branches, identifier et inscrire dans le formulaire Dendrodif, son «état branche» : vivante = **V**, ou morte = **M**. De plus, inscrire dans le formulaire Dendrodif, son «angle insertion branche» : 45° et moins = **- 45**, ou 45° et plus = **+ 45**.

Voir exemple ci-dessous de prise de mesures dans le formulaire Dendrodif :

Branches	
No étiquette :	276
No branche :	1
État branche :	M
Code diamètre branche :	2
Angle insertion branche :	45° et moins

FIGURE 11 – Interface DendroDif

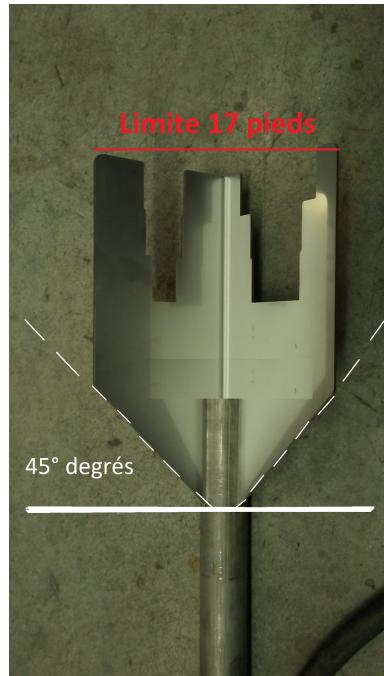


FIGURE 12 – Gabarit métallique

2.2.5 Analyse statistique

Plusieurs données seront récoltées sur les arbres dans toutes les placettes permanentes. Pour l'analyse de ces données, les variables dépendantes seront les suivantes : le numéro d'encoche (grosseur de la branche), l'inclinaison de la branche, et l'état de la branche. Quant aux variables explicatives, il y aura : l'essence, la densité de plantation (plant/ha), l'IQS, l'exposition et la latitude. Concernant les paramètres environnementaux, nous utiliserons principalement l'exposition, car elle peut favoriser la croissance du houppier sur la face la plus ensoleillée. Étant donné que toute les placettes sont géoréférencées, il sera également possible d'utiliser la latitude comme variable, dans le but de vérifier le gradient Nord-Sud a une incidence sur la grosseur des noeuds. Par une technique de régression multinomiale, il sera possible d'estimer la proportion des faces se ayant une taille de nœuds donnée pour différents scénarios d'espacements. Il sera ensuite possible d'estimer dans quelle mesure un espacement initial plus large est susceptible d'engendrer des déclassements de la qualité des planches.

2.3 Modélisation du défilement et de la composition du panier de produits

À l'aide d'un simulateur d'éclaircies créé par la Direction de la Recherche Forestière, "Simuléclaircies version GS Taktik", il sera possible de déterminer le DHP quadratique moyen et la hauteur dominante des tiges à maturité en fonction : de l'essence, de l'IQS, de la densité de reboisement et du scénario sylvicole (0, 1 ou 2 éclaircies).

Afin de simuler la transformation primaire, FPIInnovations a développé Optitek, un logiciel qui utilise les données acquises à partir de scanners laser pour donner une représentation tridimensionnelle de la forme réelle de la tige [15]. Toutefois, ce logiciel demande une compréhension fine de la transformation primaire du bois pour être bien utilisé. Ce niveau de compréhension dépassant le cadre de cette étude, nous utiliserons plutôt une simplification du modèle qui tient compte du DHP et de la hauteur des arbres pour prédire la composition du panier de produits déterminée par Optitek. Ce méta-modèle statistique nommé STATSAW [12] est paramétré pour l'épinette noire. À défaut d'avoir d'autres modèles, nous utiliserons STATSAW aussi pour l'épinette blanche et le pin gris.

3 Résultats escomptés

On s'attend à une relation entre la densité de plantation et les propriétés du bois (proportion de sciage, grosseur des branches). On suppose qu'un espacement initial plus large pourrait donner de meilleurs résultats en terme de rendement en valeur des produits, mais que cela peut dépendre des espèces. Par exemple, puisque le pin gris fait de plus gros noeuds, il est possible que l'*optimum* de densité de plantation se situe à une valeur plus faible d'espacement que 2 mètres. Ces suppositions sont aussi à vérifier pour l'épinette noire et l'épinette blanche.

Pour le diamètre de la plus grosse branche, on s'attend à observer une augmentation de la grosseur des branches à de plus fortes densités. En effet, la hausse de la mortalité interspécifique devrait libérer de l'espace aux arbres résiduels et favoriser leurs développement de houppier et donc des branches.

Le défilement est bien documenté sur les trois essences, ce qui permettra de bien alimenter le simulateur Optitek en données pour prévoir une valeur par arbre. Les ajustements avec le modèle STATSAW étant initialement paramétrés pour l'épinette noire, il y aura nécessairement une incertitude pour l'épinette blanche et le pin gris quant à la projection du panier de produits. Toutefois, on suppose une augmentation de la proportion de sciage pour toutes les essences au fur et à mesure que la densité diminue.

4 Conclusion

À la lumière des résultats obtenus, des recommandations pourront être formulées auprès des praticiens en régions pour les sensibiliser aux effets de la densité de reboisement sur les caractéristiques du bois. En termes économiques, si les caractéristiques du bois ne se dégradent pas trop rapidement au fur et à mesure qu'on diminue la densité de plantation, il peut être envisageable d'abaisser le nombre de tiges à l'hectare et donc de réduire les coûts de plantation. Une autre retombée espérée est de pouvoir créer, à long terme, des bois issus de plantations ayant le meilleur panier de produits possible.

5 Échéancier

Sessions consécutives	Activités prévues	Saisons (Automne, Hiver OU Été)	Années
1	FOR-6814 Crédits de recherche Élaboration du protocole Préparation des données Formation des entrepreneurs Relevés terrain	Été	2018
2	MET-7900 Méthodologie de la recherche FOR 7044 Analyse des données écologiques FOR-6811 Crédits de recherche Compilation des données Début de revue de littérature	Automne	2018
3	FOR-6812 Crédits de recherche FOR-7046 Modèles hiérarchiques et inférence bayésienne pour les sciences naturelles Début des analyses statistiques	Hiver	2019
4		Été	2019
5	FOR-6813 Crédits de recherche Dépôt initial du mémoire	Automne	2019
6	FOR-7100 Rédaction scientifique Dépôt final du mémoire	Hiver	2020

FIGURE 13 – Calendrier des activités

Références

- [1] Guy Prégent, Geneviève Picher, and Isabelle Auger. Tarif de cubage, tables de rendement et modèles de croissance pour les plantations d'épinette blanche au Québec. 01 2010.
- [2] Darren A. Miller, T Bently Wigley, and Karl V Miller. Managed forests and conservation of terrestrial biodiversity in the southern United States. *Journal of Forestry*, 107(4) :197–203, 2009.
- [3] Daniel Richard, Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Secteur des Opérations régionales, Direction générale de la production de semences et de plants forestiers. Portrait des plantations récentes au Québec. page 16, 2015.
- [4] Gouvernement du Québec. Budget 2016-2017, Compétitivité de l'industrie forestière au Québec, 2017.
- [5] J Gaudreault, P Forget, J M Frayret, A Rousseau, and S D'Amours. Distributed Operations Planning in the Lumber Supply Chain : Models and Coordination. *International Journal of Industrial Engineering : Theory, Applications and Practice*, 17(3) :168–189, 2010.
- [6] Nelson Thiffault, Vincent Roy, Guy Prégent, Guillaume Cyr, Robert Jobidon, and Jean Menetrier. La sylviculture des plantations résineuses au Québec. *Le Naturaliste canadien*, 127 :63–80, 2003.
- [7] Belachew Gizachew, Andreas Brunner, and Bernt Håvard Øyen. Stand responses to initial spacing in Norway spruce plantations in Norway. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 27(7) :637–648, 2012.
- [8] Guy Prégent. *L'éclaircie des plantations*, volume 133. 1998.
- [9] A. Groot and F. Cortini. Effects of initial planting density on tree and stand development of planted black spruce up to age 30. *Forestry Chronicle*, 92(2) :200–210, 2016.
- [10] Rodney Will, Thomas Hennessey, Thomas Lynch, Randal Holeman, and Robert Heinemann. Southeastern Oklahoma. 56(5) :437–443, 2010.

- [11] Madison Katherine Akers, Michael Kane, Dehai Zhao, Robert O. Teskey, and Richard F. Daniels. Effects of planting density and cultural intensity on stand and crown attributes of mid-rotation loblolly pine plantations. *Forest Ecology and Management*, 310 :468–475, 2013.
- [12] David Auty, Alexis Achim, Pierre Bédard, and David Pothier. StatSAW : modelling lumber product assortment using zero-inflated Poisson regression. *Canadian Journal of Forest Research*, 44(6) :638–647, 2014.
- [13] DG Briggs. Enhancing Forest Value Productivity through Fiber Quality. *Journal of Forestry*, 108(4) :174–182, 2010.
- [14] John Walker. Wood quality : A perspective from New Zealand. *Forests*, 4(2) :234–250, 2013.
- [15] FPInnovations. Optitek 10 : user's manual. 2014.
- [16] Julie Barrette, David Pothier, David Auty, Alexis Achim, Isabelle Duchesne, and Nancy Gélinas. Lumber recovery and value of dead and sound black spruce trees grown in the north shore region of québec. *Annals of Forest Science*, 69(5) :603–615, 2012.
- [17] Zhang S.Y. Cloutier A. Liu, C. and Rycabel. Modeling lumber value recovery in relation to selected tree characteristics in black spruce using the Optitek sawing simulator. *For. Prod. J.*, 57(4) :57–65, 2007.
- [18] S.Y Zhang, Gilles Chauret, Haiqing Q. Ren, and Richard Desjardins. Impact of initial spacing on plantation black spruce lumber grade yield, bending properties, and MSR yield. *Wood and Fiber Science*, 34(3) :460–475, 2002.
- [19] H Lemieux, M Beaudoin, and F Grondin. A model for the sawing and grading of lumber according to knots. *Wood and Fiber Science*, 32(2) :179–188, 2000.
- [20] François Hébert, Cornelia Krause, Pierre Yves Plourde, Alexis Achim, Guy Prégent, and Jean Ménétrier. Effect of tree spacing on tree level volume growth, morphology,

- and wood properties in a 25-year-old *Pinus banksiana* plantation in the boreal forest of Quebec. *Forests*, 7(11) :5–7, 2016.
- [21] Que-ju Tong, Isabelle Duchesne, Denis Belley, Michel Beaudoin, and Swift Edwin. Characterization of Knots in Plantation White Spruce. *Wood and Fiber Science*, 45(1) :84–97, 2013.
- [22] E. Duchateau, F. Longuetaud, F. Mothe, C. Ung, D. Auty, and A. Achim. Modelling knot morphology as a function of external tree and branch attributes. *Canadian Journal of Forest Research*, 43(3) :266–277, 2013.
- [23] Jeffrey G Benjamin, John A Kershaw, Aaron R Weiskittel, Ying Hei Chui, and S Y Zhang. External knot size and frequency in black spruce trees from an initial spacing trial in Thunder Bay , Ontario School of Forest Resources , University of Maine. *East*, 85(207), 2009.
- [24] Q. J. Tong and S. Y. Zhang. Quantifying stem quality characteristics in relation to initial spacing and modeling their relationship with tree characteristics in black spruce (*picea mariana*). *Njaf (Northern Journal of Applied Forestry)*, 22(2) :85–93, 2005.
- [25] Kicki Johansson. Effects of initial spacing on the stem and branch properties and graded quality of *Picea abies* (L.) karst. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 7(1-4) :503–514, 1992.
- [26] Harri Mäkinen. Effect of stand density on radial growth of branches of Scots pine in southern and central Finland. *Canadian Journal of Forest Research*, 29(8) :1216–1224, 1999.
- [27] Oriana Pfister, Cristofer Wallentin, Urban Nilsson, and Per Magnus Ekö. Effects of wide spacing and thinning strategies on wood quality in Norway spruce (*Picea abies*) stands in southern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 22(4) :333–343, 2007.
- [28] Q. J. Tong and S. Y. Zhang. Impact of initial spacing and precommercial thinning on jack pine tree growth and stem quality. *Forestry Chronicle*, 81(3) :418–428, 2005.

[29] Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Secteur des Forêts, Direction des inventaires forestiers. Normes d'inventaire écoforestier, placettes-échantillons permanentes. page 254, 2016.

[30] Méthot et all. Guide d'inventaire et d'échantillonnage en milieu forestier du Québec. page 237 p., 2014.