



Conférence Régionale des Préfets
Saguenay – Lac-Saint-Jean

**INVENTAIRE FORESTIER DANS DES PLANTATIONS D'ÉPINETTE NOIRE
ET DE PIN GRIS DANS LA RÉGION DU SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN**

RÉSULTATS

Octobre 2016

Recherche et rédaction

Isabelle Delisle, M. Sc., biologiste, CRP-02

Supervision

Aldé Gauthier, ing. forestier, CRP-02

En collaboration avec

Mélanie Bouchard, M. Sc., biologiste
Aldé Gauthier, ing. forestier, CRP-02
Diane Larose, ing. forestier, MFFP-02
Daniel Villemure, ing. forestier, MFFP-02

Révision linguistique

Isabelle Delisle, M.Sc., biologiste, CRP-02

Comité de lecture

Sylvain Chouinard, ing. forestier, BFEC
Caroline Couture, ing. forestier, BFEC
Marc Dubé, ing. forestier, MRC Maria-Chapdelaine
Aldé Gauthier, ing. forestier, CRP-02
Diane Larose, ing. forestier, MFFP-02
Richard Tremblay, ing. forestier, MFFP-02
Daniel Villemure, ing. forestier, MFFP-02

RÉSUMÉ

Dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean, près de 500 000 hectares de forêt ont été reboisés depuis les années 1980. Plus de 90 % des essences reboisées sur le territoire forestier de la région sont des épinettes noires et des pins gris. La plantation permet de rétablir le couvert forestier lorsque la régénération est déficiente après une perturbation naturelle ou anthropique. Le rendement des plantations est basé sur des modèles provinciaux de simulation de croissance. Or, ces modèles considèrent uniquement le volume produit par les tiges reboisées, bien que de la régénération naturelle est observée dans les plantations. Le mesurage des caractéristiques des plantations d'épinette noire et de pin gris de la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean, en considérant l'apport des tiges naturelles, permettrait d'obtenir des données plus représentatives des rendements réels. Afin de préciser ce rendement, la Conférence régionale des élus et le Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs de la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean, ont amorcé un projet d'inventaire forestier de 72 placettes-échantillons dans des plantations d'épinette noire et de pin gris âgées de plus de 20 ans dans la région. L'inventaire, réalisé selon la norme technique d'inventaire forestier du Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs de la région, a démontré que les plantations étaient en transition entre les stades gaulis et perchis, soit entre un peuplement de dimension non marchande et un peuplement de dimension marchande. La croissance des arbres dans les plantations d'épinette noire varie en fonction de la richesse des sites, tandis que les plantations de pin gris semblent moins influencées par cette richesse. Les résultats d'IQS des plantations d'épinette noire soutiennent l'utilisation du regroupement de végétation potentielle comme classification de la richesse des sites. La régénération naturelle dans les plantations est présente dans des proportions significatives. Peu importe l'origine des tiges, l'essence reboisée domine dans les plantations. De plus, les essences feuillues y sont présentes qu'en faible proportion. Lorsque seule la régénération naturelle est évaluée, l'épinette noire est l'essence dominante, tant dans les plantations d'épinette noire que dans celles de pin gris. Malgré le jeune âge des arbres reboisés et naturels dans les plantations, les résultats démontrent la contribution non négligeable des tiges naturelles au rendement total des plantations.

TABLES DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	iii
TABLES DES MATIÈRES.....	iv
LISTE DES TABLEAUX.....	vi
LISTE DES FIGURES	vii
1. MISE EN CONTEXTE	1
<i>1.1 Contexte</i>	<i>1</i>
<i>1.2 Plantation.....</i>	<i>2</i>
<i>1.3 Objectifs</i>	<i>4</i>
2. RÉALISATION DE L'INVENTAIRE FORESTIER	5
<i>2.1 Localisation</i>	<i>5</i>
<i>2.2 Norme d'inventaire forestier.....</i>	<i>8</i>
<i>2.3 Échantillonnage</i>	<i>8</i>
3. PORTRAIT DES PLANTATIONS DE LA RÉGION DU SAGUENAY-LAC-SAINTE-JEAN.....	14
4. PORTRAIT GÉNÉRAL DES PLANTATIONS INVENTORIÉES	17
<i>4.1 Localisation des plantations.....</i>	<i>17</i>
<i>4.2 Traitement d'éclaircie précommerciale.....</i>	<i>19</i>
<i>4.3 État des plantations</i>	<i>21</i>
5. INDICE DE QUALITÉ DE LA STATION.....	23
<i>5.1 Définition.....</i>	<i>23</i>
<i>5.2 Résultats.....</i>	<i>23</i>
6. RÉGÉNÉRATION NATURELLE DANS LES PLANTATIONS	27
<i>6.1 Composition de la régénération dans les plantations</i>	<i>27</i>
<i>6.2 Composition en essences de la régénération naturelle</i>	<i>29</i>

7. VOLUME MARCHAND DES PLANTATIONS INVENTORIÉES	32
7.1 Calcul du volume marchand	32
7.2 Modèles provinciaux	32
7.3 Modèles provinciaux vs Forslund et Paterson	35
8. CONCLUSION	39
9. RÉFÉRENCES	42
ANNEXES I – DONNÉES BRUTES	49
ANNEXES II - RAPPORT KRAUSE ET AL. 2014	51

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Portrait des plantations dans la région du Saguenay-Lac-Saint par unité d'aménagement.	15
Tableau 2. Portrait des plantations dans la région du Saguenay-Lac-Saint par regroupement de végétation potentielle.	15
Tableau 3. Caractéristiques des arbres reboisés dans les plantations d'épinette noire et de pin gris en fonction du regroupement de végétation potentielle. Les valeurs qui suivent le symbole \pm représentent l'erreur type.	22
Tableau 4. IQS des plantations d'épinette noire et de pin gris en fonction du regroupement de végétation potentielle. Les valeurs qui suivent le symbole \pm représentent l'erreur type.	25
Tableau 5. DHP moyen des arbres reboisés et des arbres naturels dans les plantations d'épinette noire et de pin gris en fonction du regroupement de végétation potentielle. Les valeurs qui suivent le symbole \pm représentent l'erreur type.	34
Tableau 6. Volume marchand des arbres reboisés et naturels dans les plantations d'épinette noire et de pin gris inventoriées.	49

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Localisation des placettes-échantillons de l'inventaire forestier dans des plantations d'épinette noire et de pin gris dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean.....	7
Figure 2. Portrait annuel des superficies reboisées dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Abréviations : Total = total des plantations, EPN = plantations d'épinette noire, PIG = plantations de pin gris et Autres = plantations des autres essences.	16
Figure 3. Regroupement de végétation potentielle des plantations d'épinette noire et de pin gris inventoriées. (n=50 pour EPN et n=22 pour PIG). Voir Figure 2 pour les abréviations.	18
Figure 4. Domaine bioclimatique des plantations d'épinette noire selon le regroupement de végétation potentielle. (n=19 pour RE, n=22 pour RS et n=9 pour MS). Abréviations : Sapinière = domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc et Pessière = domaine bioclimatique de la pessière à mousses.	18
Figure 5. Domaine bioclimatique des plantations de pin gris selon le regroupement de végétation potentielle. (n=13 pour RE et n=9 pour RS). Voir Figure 4 pour les abréviations.	19
Figure 6. Traitement d'EPC dans les plantations d'épinette noire selon le regroupement de végétation potentielle. (n=19 pour RE, n=22 pour RS et n=9 pour MS). Abréviations : <i>Absence</i> = plantation sans traitement d'EPC et <i>EPC</i> = plantation traitée en EPC.	20
Figure 7. Traitement d'EPC dans les plantations de pin gris selon le regroupement de végétation potentielle. (n=13 pour RE et n=9 pour RS). Voir Figure 4 pour les abréviations.	20
Figure 8. Densité des plantations d'épinette noire et de pin gris en fonction du regroupement de végétation potentielle. (n=50 pour EPN et n=22 pour PIG). Les barres indiquent l'erreur-type. Voir Figure 2 pour les abréviations.	22
Figure 9. Distribution des IQS des plantations d'épinette noire selon le regroupement de végétation potentielle. (n=19 pour RE, n=22 pour RS et n=9 pour MS).	25
Figure 10. Distribution des IQS des plantations de pin gris selon le regroupement de végétation potentielle. (n=13 pour RE et n=9 pour RS).	26
Figure 11. Composition de la régénération plantée et naturelle dans les plantations d'épinette noire selon le regroupement de végétation potentielle. (n=19 pour RE, n=22 pour RS et n=9 pour MS).	28

Figure 12. Composition de la régénération plantée et naturelle dans les plantations de pin gris selon le regroupement de végétation potentielle. (n=13 pour RE et n=9 pour RS)... 29

Figure 13. Composition en essence de la régénération naturelle dans les plantations d'épinette noire selon le regroupement de végétation potentielle. (n=19 pour RE, n=22 pour RS et n=9 pour MS). Abréviations : EPN = épinette noire, SAB = sapin baumier, FIG = pin gris, MEL = mélèze laricin, BOP = bouleau blanc et PET = peuplier faux-tremble. 31

Figure 14. Composition en essence de la régénération naturelle dans les plantations de pin gris selon le regroupement de végétation potentielle. (n=13 pour RE et n=9 pour RS). Voir Figure 12 pour les abréviations. 31

Figure 15. Volume marchand des plantations d'épinette noire (modèles provinciaux) selon le regroupement de végétation potentielle et gain du volume marchand attribuable à la régénération naturelle. (n=19 pour RE, n=22 pour RS et n=9 pour MS). Les pourcentages au dessus des colonnes indiquent le gain en volume marchand attribuable aux arbres naturels. 34

Figure 16. Volume marchand des plantations de pin gris (modèles provinciaux) selon le regroupement de végétation potentielle et gain du volume marchand attribuable à la régénération naturelle. (n=13 pour RE et n=9 pour RS). Les pourcentages au dessus des colonnes indiquent le gain en volume marchand attribuable aux arbres naturels..... 35

Figure 17. Comparaison de deux méthodes de calcul du volume marchand des plantations d'épinette noire selon le regroupement de végétation potentielle. (n=19 pour RE, n=22 pour RS et n=9 pour MS). Les pourcentages au dessus des colonnes indiquent le gain en volume marchand attribuable aux arbres naturels. 37

Figure 18. Comparaison de deux méthodes de calcul du volume marchand des plantations de pin gris selon le regroupement de végétation potentielle. (n=13 pour RE et n=9 pour RS). Les pourcentages au dessus des colonnes indiquent le gain en volume marchand attribuable aux arbres naturels. 38

1. MISE EN CONTEXTE

1.1 Contexte

Dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean, près de 500 000 hectares (CFET-BFEC et RATF)¹ de forêt ont été reboisés depuis les années 1980. Les principales essences reboisées sont l'épinette noire, suivie du pin gris. Effectivement, ces deux essences représentent plus de 90 % des plantations sur le territoire forestier de la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean (CFET-BFEC et RATF). La plantation permet de rétablir le couvert forestier lorsque la régénération est déficiente, soit en quantité ou en qualité, après une perturbation naturelle ou anthropique. La plantation, sous certaines conditions de réussite, augmente le rendement du site comparativement à un peuplement régénéré naturellement. La plantation permet également de contrôler la composition du peuplement, sa densité ainsi que la distribution des arbres. Bien que des efforts de protection de la régénération naturelle préétablie soient appliqués lors des opérations de récolte forestière, il est estimé qu'environ 20 % des superficies récoltées sont reboisées (Parent 2010). Outre les arbres reboisés, la présence de régénération naturelle peut être observée dans les plantations. Logiquement, cette régénération naturelle devrait contribuer au rendement total du peuplement reboisé.

Actuellement, le rendement des plantations est basé sur des modèles de simulation de croissance qui ont été développés par la Direction de la recherche forestière du Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (ci-après MFFP) (Poulin 2013). Ces modèles ont pour fonction de déterminer le volume marchand brut à l'hectare d'une essence en fonction de l'âge, de l'indice de qualité de station (ci-après IQS) et de la

¹ Les superficies, jusqu'en 2011 inclusivement ainsi qu'une partie de 2012, proviennent de la base de données du CFET-BFEC qui est produite par le Bureau du forestier en chef (BFEC). Elle est une bonification du combiné forestier, écologique et territorial (CFET) produit par la Direction des inventaires forestiers (DIF). Les données de cette base proviennent de la carte du 4^e décennale pour l'unité d'aménagement 02251 (mise à jour en 2005), 02351 (2005), 02352 (2006) et 02551 (2007) et du 3^e décennale pour la 02451 (1999), 02452 (1999) et 02751 (1999). Les superficies d'une partie de l'année 2012, de 2013 et de 2014 proviennent des rapports annuels des travaux forestiers (RATF) du MFFP-02, puisqu'elles n'étaient pas disponibles dans la banque du CFET-BFEC au moment où les données ont été traitées. Les superficies présentées comprennent l'ensemble des superficies reboisées en forêt publique dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean et exclu les superficies regarnies. Le traitement des données a été réalisé lors d'une étude antérieure portant sur l'historique des superficies reboisées dans la région.

densité initiale de la plantation. Les courbes de rendement utilisées sont basées sur ces modèles provinciaux pour les domaines bioclimatiques de la sapinière à bouleau blanc et jaune et de la pessière à mousses. Cependant, ces modèles considèrent uniquement le volume produit par les tiges reboisées. Une étude antérieure (Krause *et al.* 2014), portant sur le rendement des plantations d'épinette noire et de pin gris dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean, a montré que les plantations d'épinette noire et de pin gris de la région avaient un rendement en volume marchand comparable à celui des modèles provinciaux. Or, lors de cette étude, la présence de régénération naturelle résineuse a été observée dans les plantations (Krause *et al.* 2014). Lors du calcul du rendement des plantations, cette régénération naturelle n'a pas été considérée. La Direction générale régionale du Saguenay-Lac-Saint-Jean (ci-après DGR-02) du MFFP et la Conférence régionale des élus du Saguenay-Lac-Saint-Jean (ci-après CRÉ-02) sont d'avis que le mesurage des caractéristiques des plantations d'épinette noire et de pin gris de la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean, notamment en considérant l'apport des tiges naturelles, permettrait d'obtenir des données de rendement plus représentatives des réalités du Saguenay-Lac-Saint-Jean.

1.2 *Plantation*

Les premières plantations ont vu le jour à la fin du 19^e siècle au Québec (Castonguay 2006, Dancause 2008). La première pépinière québécoise a été établie au début du 20^e siècle (Dancause 2008), mais ce n'est que dans les années 1980 que le reboisement au Québec a connu un réel essor (Lamhamedi *et al.* 2003, Thiffault *et al.* 2013). Au cours de cette période, l'épinette noire est devenue l'essence la plus reboisée au Québec (Prégent *et al.* 1996, Parent 2002, Prégent et Végiard 2010). Au début des années 1990, l'adoption de la Stratégie de protection des forêts ainsi que les coupes favorisant la protection de la régénération préétablie stabilisent les niveaux de reboisement et les plantations deviennent un complément à la régénération naturelle (MRNF 1994, Dancause 2008, Thiffault *et al.* 2003, Thiffault et Roy 2011, Thiffault *et al.* 2013, BFEC 2015). Depuis, il est estimé qu'environ 20 % des superficies récoltées sont reboisées annuellement (Parent 2010, Thiffault *et al.* 2013).

Globalement, le reboisement est l'établissement de plantations forestières sur des superficies temporairement déboisées afin d'en reconstituer le couvert forestier lorsque la régénération de l'essence désirée est déficiente en quantité ou en qualité (Côté 2003, FAO 2004, Bell *et al.* 2006, Gravel 2014). Les plantations permettent de gérer la composition du peuplement, sa densité et la distribution des tiges (BFEC 2013, Thiffault *et al.* 2013, Gravel 2014), favorisant ainsi une occupation optimale de la station et des ressources (FAO 2004, Thiffault *et al.* 2013). Les plantations permettent également d'augmenter la productivité ligneuse d'une station par rapport aux forêts régénérées naturellement (Savill *et al.* 1997, Nyland 2002, Prigent *et al.* 2010, Thiffault *et al.* 2013, Gravel 2014, BFEC 2015). Cette augmentation permet de réduire le temps de révolution des peuplements et d'augmenter la valeur économique du bois récolté (Liechty *et al.* 1988, BFEC 2013, Thiffault *et al.* 2013). Cette augmentation de la production ligneuse permet également de libérer des superficies de forêt naturelle à d'autres fins, comme par exemple pour la conservation (Vallée 1972, Wagner *et al.* 2004).

Les plantations de la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean représentent environ 50 % des plantations provinciales (Parent 2015). L'épinette noire est l'essence la plus reboisée, suivie par le pin gris (Trottier 1998, Parent 2002, Krause *et al.* 2014). L'épinette noire est bien adaptée aux feux, aux épidémies d'insectes ainsi qu'aux coupes forestières (Sirois et Payette 1989, Morin et Laprise 1990, Viereck et Johnston 1990, Lussier *et al.* 2002). Des peuplements productifs d'épinette noire sont retrouvés sur une grande variété de station, mais l'épinette noire aura les meilleures croissances sur des sols fertiles, de texture fine à moyenne et qui sont bien à modérément bien drainés (Viereck et Johnston 1990, Thiffault *et al.* 2003). Le pin gris est également bien adapté aux feux (Heinselman 1981, Rudolph et Laidly 1990) et préfère les sols bien drainés et sablonneux (Rudolph et Laidly 1990, Thiffault *et al.* 2003). L'évaluation du rendement de ces plantations est réalisée à partir des tables de rendement élaborées par Prigent *et al.* (1996) pour celles d'épinette noire et par Bolghari et Bertrand (1984) pour celles de pin gris. Au niveau provincial, ces modèles sont privilégiés, puisqu'ils ont l'avantages de fournir une estimation rapide et peu coûteuse du rendement des plantations. Plus précisément, ces

modèles permettent de déterminer le volume marchand brut à l'hectare d'une plantation à un âge donné à partir de sa densité initiale de reboisement et de son IQS, qui consiste en une relation entre l'âge d'un peuplement et la hauteur des arbres dominants (Bolghari et Bertrand 1984, Carpentier *et al.* 1989, Prégent *et al.* 1996). Ces modèles ne tiennent compte que des tiges plantées, et non des tiges d'origines naturelles, fréquemment présentes dans les plantations.

1.3 Objectifs

Afin de bonifier les données sur le rendement des plantations d'épinette noire et de pin gris dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean, la CRÉ-02 et le MFFP-02 ont initié un projet d'inventaire forestier dans les plantations d'épinette noire et de pin gris de plus de 20 ans. L'objectif de cet inventaire est d'acquérir des données régionales afin de préciser le rendement des plantations d'épinette noire et de pin gris de la région, notamment en évaluant la contribution en volume de la régénération naturelle à ce rendement.

2. RÉALISATION DE L'INVENTAIRE FORESTIER

2.1 Localisation

Le projet consiste à réaliser un inventaire forestier dans des plantations d'épinette noire et de pin gris de plus de 20 ans dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean. L'inventaire couvre le territoire forestier des unités d'aménagement (ci-après UA) suivantes :

- UA 02251
- UA 02351
- UA 02352
- UA 02451
- UA 02452
- UA 02551
- UA 02751

Des placettes-échantillons ont été localisées aléatoirement selon un plan de sondage réalisé par le MFFP-02. Le cadre d'échantillonnage du plan de sondage a été défini en fonction de la dispersion des plantations selon les regroupements de végétation potentielle RE (les pessières noires à mousses ou à éricacées (RE2) (32 parcelles-échantillons)), RS (les sapinières à épinette noire (RS2) (31 parcelles-échantillons)) et MS (les sapinières à bouleau jaune (MS1) (5 parcelles-échantillons) et les sapinières à bouleau blanc (MS2) (4 parcelles-échantillons)) et les essences reboisées, soit l'épinette noire et le pin gris. Les regroupements de végétation potentielle permettent de prédire la productivité forestière d'un site en les classant selon leur richesse relative (Béland *et al.* 1992, Saucier *et al.* 2009). Les sites sur le regroupement de végétation potentielle MS sont des stations riches, ceux sur le regroupement RS sont de richesses modérés et ceux sur le regroupement RE sont de faibles richesses. Les plantations de pin gris sur le regroupement de végétation potentielle MS ont été exclues du cadre d'échantillonnage, puisqu'il y en a très peu dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Au total, 5 groupes

du cadre d'échantillonnage ont été retenus et au moins 9 placettes-échantillons par groupes ont été identifiées. Le nombre minimal de placettes par groupe a été déterminé en fonction des critères de compilation par strate du bureau du forestier en chef (ci-après BFEC) en vigueur au moment de la réalisation du plan de sondage. Un total de 72 placettes-échantillons ont été inventoriées, 50 de plantations d'épinette noire et 22 de plantations de pin gris (Voir Figure 1). Les groupes du cadre d'échantillonnage et le nombre de placettes-échantillons par groupes sont les suivants :

- Plantation d'**épinette noire** sur le regroupement de végétation potentielle **RE** (EPN-RE) ; **19 placettes-échantillons**
- Plantation d'**épinette noire** sur le regroupement de végétation potentielle **RS** (EPN-RS) ; **22 placettes-échantillons**
- Plantation d'**épinette noire** sur le regroupement de végétation potentielle **MS** (EPN-MS) ; **9 placettes-échantillons**
- Plantation de **pin gris** sur le regroupement de végétation potentielle **RE** (PIG-RE) ; **13 placettes-échantillons**
- Plantation de **pin gris** sur le regroupement de végétation potentielle **RS** (PIG-RS) ; **9 placettes-échantillons**

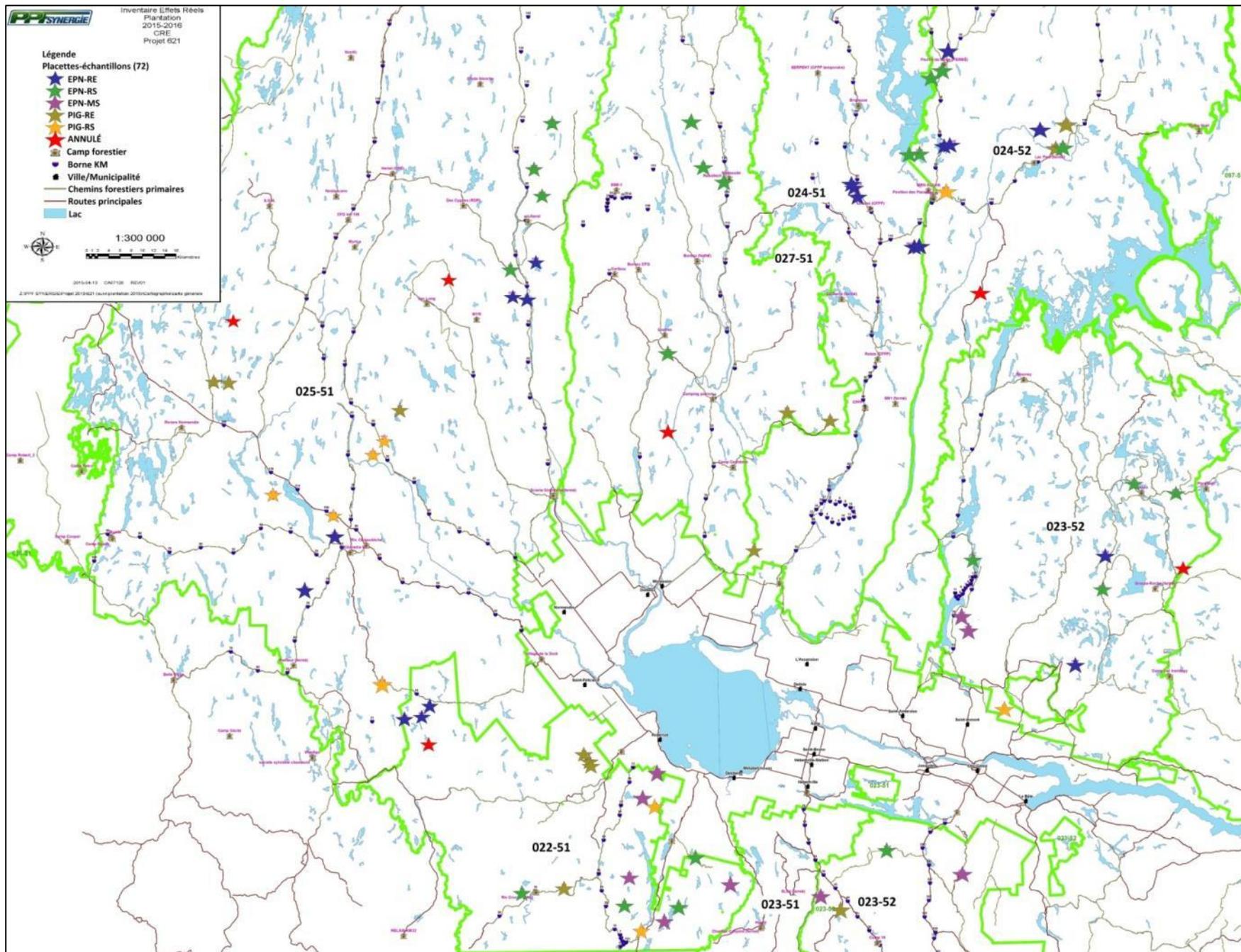


Figure 1. Localisation des placettes-échantillons de l'inventaire forestier dans des plantations d'épinette noire et de pin gris dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean.

2.2 Norme d'inventaire forestier

L'inventaire forestier des plantations d'épinette noire et de pin gris est réalisé selon la norme technique d'inventaire forestier du MFFP-02 (MFFP 2015). Cette norme technique a été développée par les membres du comité MFFP-CRÉ-02. Pour l'élaboration de cette norme, les membres du comité se sont basés sur la norme d'inventaire écoforestier des placettes-échantillons temporaires de la Direction des inventaires forestiers (ci-après DIF) (DIF 2014) afin de s'assurer de sa conformité.

2.3 Échantillonnage

Dans chaque parcelle-échantillon, une unité d'échantillonnage rectangulaire de formats variables a été établie lors d'inventaires précédents. Ces unités d'échantillonnage sont localisées et converties en unité d'échantillonnage de 200 m² (20 mètres de long et 10 mètres de large). Dans cette unité d'échantillonnage de 200 m², tous les arbres plantés sont dénombrés et les mesures suivantes sont prises :

- L'état des arbres
- Le DHP
- Le dégagement (arbre éclairci ou non éclairci, selon la norme de l'éclaircie précommerciale avant traitement) (MRNF 2011)
- La hauteur des quatre arbres dominants

De plus, dans cette même unité d'échantillonnage, tous les arbres d'origine naturelle, d'essence commerciale et de DHP de valeur commerciale, soit les DHP supérieurs à 9 cm, sont dénombrés et les mesures suivantes sont prises :

- L'état des arbres
- L'essence
- La classe de DHP
- Le dégagement (arbre éclairci ou non éclairci)
- L'énagement (Vétéran, dominant, codominant, intermédiaire ou opprimé)

Au centre de chacune des unités d'échantillonnage, une seconde unité circulaire de 40 m² (rayon de 3,57 m) est établie. Dans cette unité d'échantillonnage de 40 m², toutes les gaules d'origine naturelle, d'essence commerciale et de DHP de valeur non commerciale, soit les DHP de 9 cm et moins, sont dénombrées et les données suivantes sont notées :

- L'essence
- La classe de DHP

Finalement, il est noté si la plantation a été traitée en éclaircie précommerciale (ci-après EPC).

L'ensemble des données mesurées a été transféré à la CRÉ-02 afin de valider et compiler ces données. Les IQS des plantations, la surface terrière totale et marchande ainsi que le volume total et marchand des arbres plantés sont calculés à partir des formules de Prégent *et al.* (1996) pour les plantations d'épinette noire (formules [1], [2], [3], [4] et [5] respectivement) et celles de Bolghari et Bertrand (1984) pour les plantations de pin gris (formules [6], [7], [8], [9] et [10] respectivement). L'âge total des plantations utilisé dans les formules représentent le cumul depuis la croissance en pépinière jusqu'au moment de l'inventaire. La hauteur dominante équivaut à la hauteur des quatre plus hautes tiges de chaque unité d'échantillonnage.

Épinette noire

$$[1] \quad IQS_{25} = \frac{H_{do}}{0,003613279(AGE^{1,904730104})(0,980710034AGE)}$$

$$[2] \quad G_t = [-0,186304 + (0,866568H_{do}) - (0,025474H_{do}^2) - (0,483665ESP)]^2 - 1$$

$$[3] \quad G_m = -5,08195 + (1,095847G_t)$$

$$[4] \quad V_t = [-0,696772 + (0,319922G_t) + (0,464719H_{do}) - (0,010687G_tH_{do}) + (0,274384ESP)]^2$$

$$[5] \quad V_m = -55,651588 + (0,851779G_t) - (0,008986H_{do}) + (0,248131G_tH_{do}) + (20,775526ESP)$$

Où

IQS_{25} = Indice de qualité de station prédit (m) à l'âge de référence de 25 ans

H_{do} = Hauteur dominante (m)

$\hat{A}ge$ = Âge total, incluant les années en pépinière (années)

G_t = Surface terrière totale prédite (m^2/ha)

G_m = Surface terrière marchande prédite (m^2/ha)

V_t = Volume total prédit (m^3/ha)

V_m = Volume marchand prédit (m^3/ha)

ESP = Espacement initial moyen entre les plants (2 m)

Pin gris

$$[6] \quad IQS_{15} = H_r \left[\frac{H_{do} + \left(\frac{CV_e}{CV_r}\right)H_e - H_e}{\left(\frac{CV_e}{CV_r}\right)H_e} \right]$$

$$[7] \quad G_t = -16,586 + 1,2264AGE + 2,8767IQS - 4,0034\sqrt{ESP}$$

$$[8] \quad G_m = -4,49 + 1,089G_t$$

$$[9] \quad V_t = -1,301 + 2,873G_t + 0,148G_tH_{do}$$

$$[10] \quad V_m = -18,847 + \frac{90,092}{V_t} + 0,919V_t$$

Où

IQS_{15} = Indice de qualité de station prédit (m) à l'âge de référence de 15 ans

H_{do} = Hauteur dominante observée (m)

H_r = Hauteur dominante à l'âge de référence (m)

H_e = Hauteur dominante à un âge donné

CV_e = Coefficient de variation de la hauteur dominante en fonction de l'âge

CV_r = Coefficient de variation de la hauteur dominante à l'âge de référence

Âge = Âge total, incluant les années en pépinière (années)

G_t = Surface terrière totale prédite (m^2/ha)

G_m = Surface terrière marchande prédite (m^2/ha)

V_t = Volume total prédit (m^3/ha)

V_m = Volume marchand prédit (m^3/ha)

ESP = Espacement initial moyen entre les plants ($5 m^2$)

Seul le volume des tiges d'origine naturelles de DHP de valeur commerciale est calculé. Le volume marchand de ces tiges est calculé à partir des tables régionales de tarif de cubage moyen élaborées par la DIF (Perron 2003, Fortin *et al.* 2007). Ces tables permettent de calculer le volume des tiges en fonction de leur essence et de leur classe de DHP.

Afin de valider la précision des modèles provinciaux basés sur les formules de Bolghari et Bertrand (1984) et de Prégent *et al.* (1996), le volume marchand des arbres plantés est calculé à partir des formules de Forslund et Paterson (1994). Cette méthode permet de calculer le volume d'une tige à partir du DHP et de la hauteur totale de cette dernière. C'est la méthode la plus précise parmi celles qui ne demandent aucun prélèvement d'arbre (Krause *et al.* 2014). Son applicabilité en forêt boréale a été testée lors d'une étude antérieure localisée dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean (Krause *et al.* 2009). Étant donné que lors de l'inventaire forestier dans les plantations d'épinette noire et de pin gris de 2015, les hauteurs des arbres plantés n'ont pas été remesurées, les hauteurs mesurées lors de l'étude de Krause *et al.* (2014), portant sur des plantations équivalentes, ont été utilisées. Ainsi, lors de cette étude, la hauteur et le DHP des arbres reboisés présents dans 186 plantations d'épinette noire et 76 plantations de pin gris dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean ont été mesurés au cours des années 2009 à 2013

inclusivement. À partir des données de l'étude de Krause et *al.* (2014), une moyenne de hauteur pour chaque DHP est calculée. Ces hauteurs moyennes sont, par la suite, associées aux tiges plantées de même DHP mesurées lors du présent inventaire forestier. Ensuite, le volume marchand des tiges plantées est calculé à partir des formules de Forslund et Paterson (1994) (formules [11] pour l'épinette noire et [12] pour le pin gris).

Épinette noire

$$[11] \quad \text{Paraboloïde : } V_m = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1,3}{H}\right)^{(-1)} \pi \left(\frac{\text{DHP}_m^2}{4}\right) HC$$

Où

V_m = Volume marchand d'une tige (dm³)

H = Hauteur de la tige (m)

DHP_m = Diamètre à hauteur de poitrine marchand (cm)

C = Facteur de correction des unités (0,10)

Pin gris

$$[12] \quad \text{Cône : } V_m = \frac{1}{3} \left(1 - \frac{1,3}{H}\right)^{(-2)} \pi \left(\frac{\text{DHP}_m^2}{4}\right) HC$$

Où

V_m = Volume marchand d'une tige (dm³)

H = Hauteur de la tige (m)

DHP_m = Diamètre à hauteur de poitrine marchand (cm)

C = Facteur de correction des unités (0,10)

Finalement, les données présentées sous forme de moyenne sont accompagnées de l'erreur type. L'erreur type est l'écart type de la moyenne. Elle est calculée à partir de la variance (formules [13] et [14]), qui exprime la moyenne au carré des écarts séparant chacune des données par rapport à la moyenne globale des échantillons. L'erreur type dépend du nombre de données dans l'échantillon et elle permet d'évaluer la précision dans l'estimation de la moyenne. Plus la variance des données est faible, plus l'erreur type est petite et plus la moyenne présentée est fiable. (Quinn et Keough 2002, Poinso 2004).

$$[13] \quad s^2 = [(x_1 - m)^2 + (x_2 - m)^2 + \dots + (x_n - m)^2] \div (n - 1)$$

$$[14] \quad \textit{Erreur type} = \sqrt{(s^2 \div n)}$$

Où

s^2 = Variance

x_n = Valeur incluse dans l'ensemble des données

m = Moyenne des données de l'échantillon

n = Effectif de l'échantillon

3. PORTRAIT DES PLANTATIONS DE LA RÉGION DU SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN

Les résultats présentés au Tableau 1 et 2 et à la Figure 2 dressent le portrait des superficies reboisées depuis les premières plantations jusqu'en 2014 inclusivement dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean. L'ensemble de ces superficies représente près de 500 000 hectares de forêt. L'épinette noire domine fortement les plantations de la région, suivie par le pin gris. Effectivement, 75 % des plantations régionales sont reboisées en épinette noire, 17 % le sont en pin gris tandis que seulement 8 % le sont avec une autre essence (Voir Tableau 1 et 2). Bien que les plantations soient réparties dans l'ensemble des UA de la région, elles sont situées principalement dans l'UA 02551, qui possède 52 % des plantations de la région (Voir Tableau 1). Plus de 90 % des superficies reboisées sont situées dans les regroupements de végétation potentielle de type RE et RS (Voir Tableau 2). Plus précisément, 53 % des plantations d'épinette noire sont situées dans l'UA 02551 et 48 % sont dans le regroupement de végétation potentielle RE (Voir Tableau 1 et 2). Pour les plantations de pin gris, 62 % sont dans l'UA 02551 et 68 % sont dans le regroupement de végétation potentielle RE (Voir Tableau 1 et 2). Très peu de plantations sont réparties dans le regroupement de végétation potentielle MS. Effectivement, seulement 8 % des plantations y sont situées, dont 6 % des plantations d'épinette noire et 3 % de celles de pin gris (Voir Tableau 2).

Les premières plantations ont été réalisées dans les années 1950 dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Par contre, avant les années 1980, les superficies reboisées étaient faibles, soit 500 hectares et moins annuellement. Dans le milieu des années 1980, le reboisement a connu un essor important. Dans les années 1990 et au début des années 2000, plus de 10 000 hectares de forêt étaient reboisés annuellement dans la région. Dans les dernières années, près de 30 000 hectares de plantations ont été établis dans la forêt publique de la région, soit environ 22 000 hectares en épinette noire et 5 000 hectares en pin gris. (Voir Figure 2).

Tableau 1. Portrait des plantations dans la région du Saguenay-Lac-Saint par unité d'aménagement.²

Essence reboisée	Unité d'aménagement (ha)							Total
	02251	02351	02352	02451	02452	02551	02751	
Épinette noire	17 000	8 600	19 800	34 000	28 700	197 400	67 000	372 500 75%
Pin gris	8 500	300	1 700	6 500	5 000	51 800	10 000	83 800 17%
Autres essences	7 000	3 800	5 300	2 500	500	10 200	10 300	39 600 8%
Total	32 500 7%	12 700 3%	26 800 5%	43 000 9%	34 200 7%	259 400 52%	87 300 18%	495 900

Tableau 2. Portrait des plantations dans la région du Saguenay-Lac-Saint par regroupement de végétation potentielle.

Essence reboisée	Regroupement de végétation potentielle (ha)			
	RE	RS	MS	Total
Épinette noire	178 300	170 600	23 600	372 500 75%
Pin gris	57 100	24 000	2 700	83 800 17%
Autres essences	11 100	15 300	13 200	39 600 8%
Total	246 500 50%	209 900 42%	39 500 8%	495 900

² Le portrait, présenté au Tableau 1 et 2 et à la Figure 2, comprend l'ensemble des superficies, arrondi à la centaine près, reboisé sur le territoire public du Saguenay-Lac-Saint-Jean jusqu'en 2014 inclusivement. Le portrait exclu les superficies regarnies, à l'exception des années 2013 et 2014 où la distinction entre les superficies reboisées et regarnies n'était pas disponible. Les données proviennent de la base de données du CFET-BFEC et des RATF (Voir note de bas de page 1).

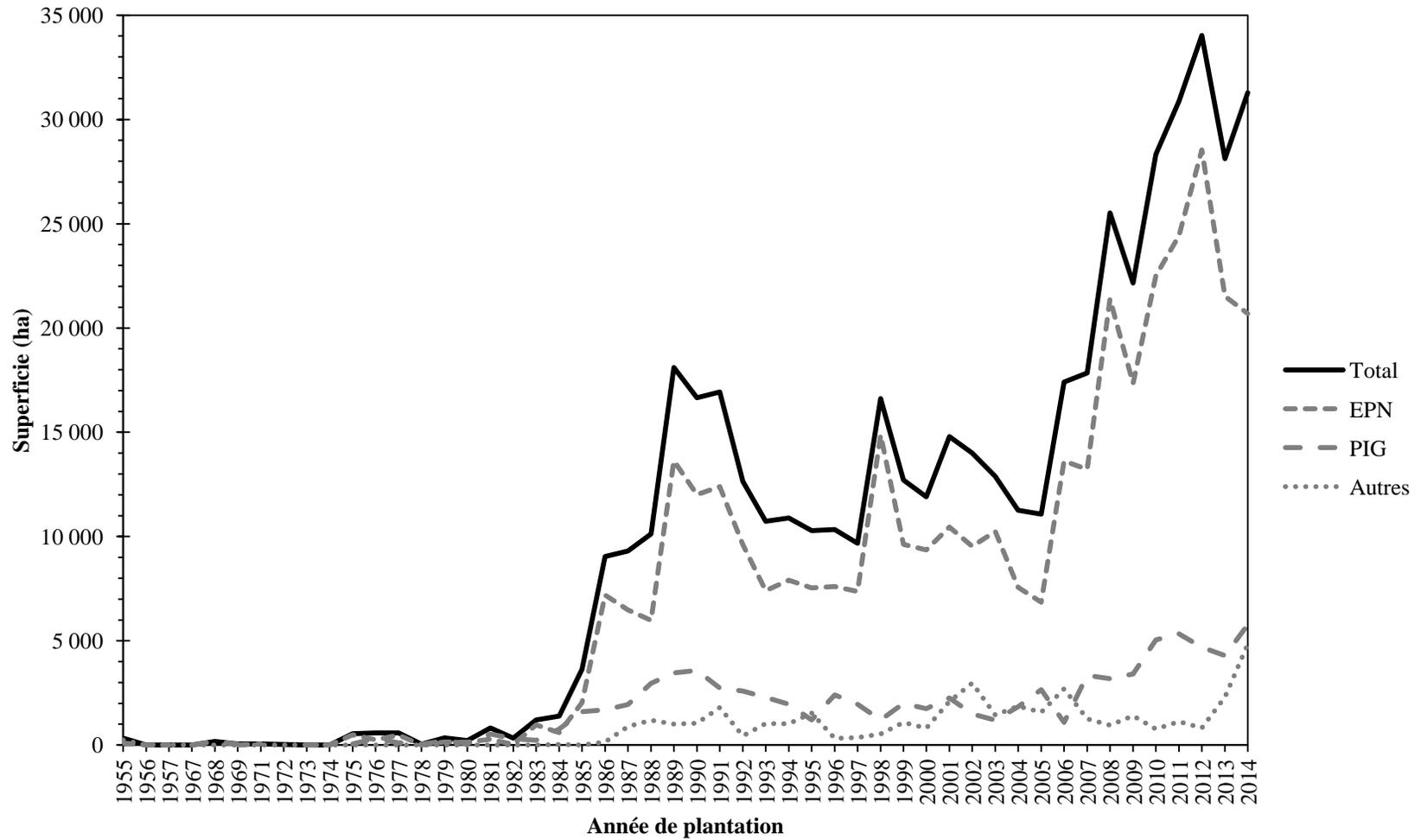


Figure 2. Portrait annuel des superficies reboisées dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Abréviations : Total = total des plantations, EPN = plantations d'épinette noire, PIG = plantations de pin gris et Autres = plantations des autres essences.

4. PORTRAIT GÉNÉRAL DES PLANTATIONS INVENTORIÉES

4.1 Localisation des plantations

Les résultats démontrent que la distribution des plantations inventoriées respecte celle de l'ensemble des plantations d'épinette noire et de pin gris dans la région. Effectivement, les plantations inventoriées sont principalement situées sur les regroupements de végétation potentielle RE et RS (Voir Figure 3). Les plantations d'épinette noire sont situées, dans des proportions comparables, sur ces deux types de regroupement de végétation potentielle, tandis que seule une faible proportion est située sur le regroupement MS (Voir Figure 3). Quant aux plantations de pin gris inventoriées, elles sont majoritairement situées sur le regroupement de végétation potentielle RE et aucune ne l'est sur le regroupement MS (Voir Figure 3).

Les plantations d'épinette noire et de pin gris inventoriées sont principalement situées dans le domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc. Effectivement, 64 % des plantations d'épinette noire et 59 % de celles de pin gris y sont réparties. Plus précisément, les plantations d'épinette noire inventoriées sur le regroupement de végétation potentielle RE sont majoritairement situées dans le domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc (Voir Figure 4). Celles sur le regroupement de végétation potentielle MS sont entièrement réparties dans ce domaine bioclimatique (Voir Figure 4). Par contre, les plantations d'épinette noire inventoriées sur le regroupement de végétation potentielle RS sont, pour la plupart, situées dans le domaine bioclimatique de la pessière à mousses (Voir Figure 4). Pour les plantations de pin gris inventoriées, elles sont situées majoritairement dans le domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc et ce, peu importe le regroupement de végétation potentielle (Voir Figure 5).

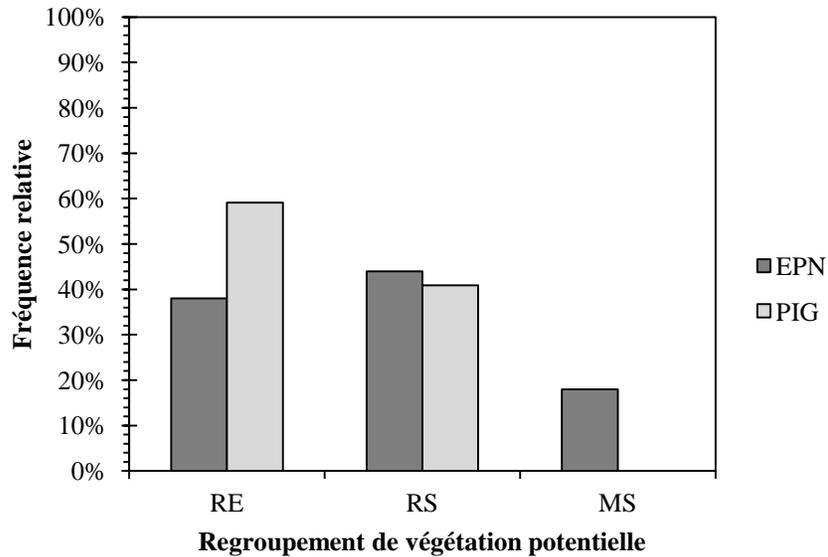


Figure 3. Regroupement de végétation potentielle des plantations d'épinette noire et de pin gris inventoriées. (n=50 pour EPN et n=22 pour PIG). Voir Figure 2 pour les abréviations.

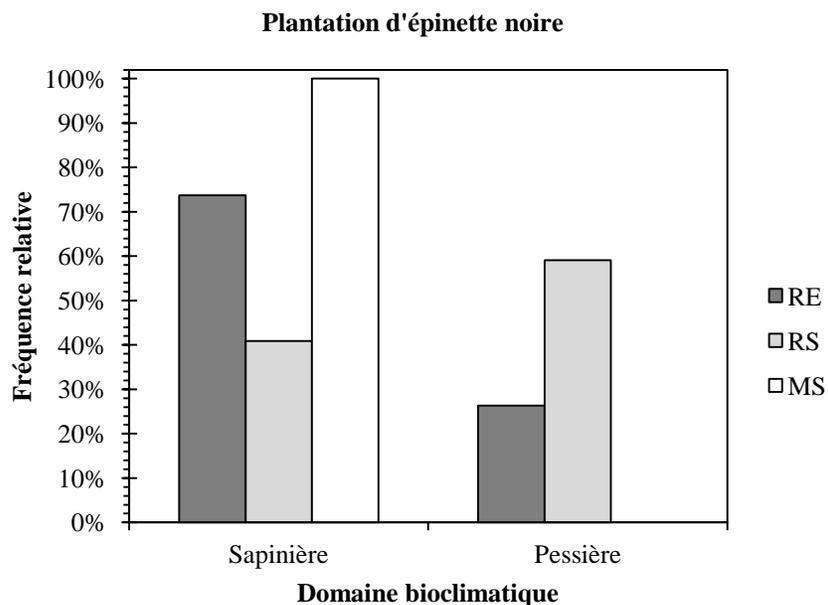


Figure 4. Domaine bioclimatique des plantations d'épinette noire selon le regroupement de végétation potentielle. (n=19 pour RE, n=22 pour RS et n=9 pour MS). Abréviations : Sapinière = domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc et Pessière = domaine bioclimatique de la pessière à mousses.



Figure 5. Domaine bioclimatique des plantations de pin gris selon le regroupement de végétation potentielle. (n=13 pour RE et n=9 pour RS). Voir Figure 4 pour les abréviations.

4.2 Traitement d'éclaircie précommerciale

Globalement, l'EPC est un traitement sylvicole non commercial permettant d'éliminer mécaniquement une partie des tiges nuisant à la croissance des arbres d'avenir (Cimon et Labbé 2006, Laflèche et Tremblay 2008, MRNF 2011, Tremblay *et al.* 2011). L'EPC permet donc de redistribuer le potentiel de croissance d'un peuplement sur un plus petit nombre de tiges afin de stimuler leur croissance (MRN 2002, Petras 2002, Laflèche et Tremblay 2008, MRNF 2011). Les résultats de l'inventaire forestier dans les plantations démontrent que seule une faible proportion des plantations a été traitée en EPC et que la majorité de ces plantations sont situées sur les stations les plus fertiles. Effectivement, environ 20 % des plantations d'épinette noire sur le regroupement de végétation potentielle RE et RS ont été traitées en EPC, tandis que plus de 30 % de celles sur le regroupement MS ont été traitées (Voir Figure 6). Pour les plantations de pin gris sur le regroupement de végétation potentielle RE, aucune n'a été traitée en EPC, tandis que plus de 30 % de celles sur le regroupement RS l'ont été (Voir Figure 7).

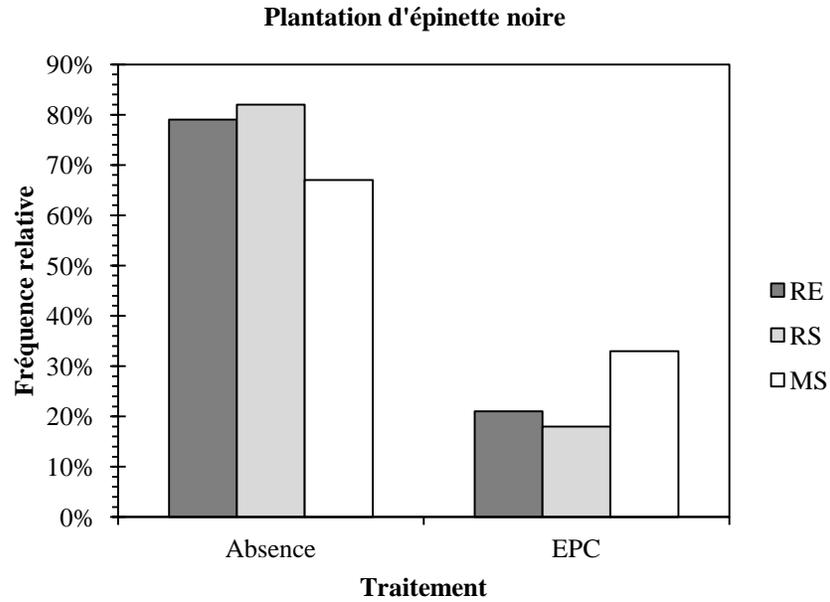


Figure 6. Traitement d'EPC dans les plantations d'épinette noire selon le regroupement de végétation potentielle. (n=19 pour RE, n=22 pour RS et n=9 pour MS). Abréviations : *Absence* = plantation sans traitement d'EPC et *EPC* = plantation traitée en EPC.

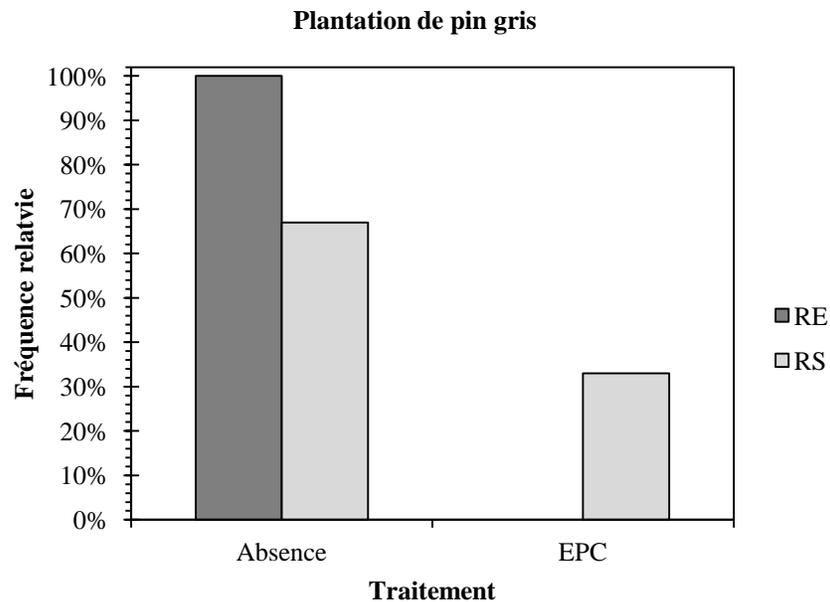


Figure 7. Traitement d'EPC dans les plantations de pin gris selon le regroupement de végétation potentielle. (n=13 pour RE et n=9 pour RS). Voir Figure 4 pour les abréviations.

4.3 *État des plantations*

Les arbres reboisés dans les plantations inventoriées sont, en moyenne, âgés de 27 ans, et ce, tant dans les plantations d'épinette noire que de pin gris (Voir Tableau 3). L'âge calculé inclut les années de croissance des arbres en pépinière. L'âge varie de 22 à 35 ans et ne diffère pas en fonction du regroupement de végétation potentielle (Voir Tableau 3). Les hauteurs dominantes ainsi que les DHP moyens des arbres reboisés varient en fonction du regroupement de végétation potentielle. Effectivement, les plantations sur le regroupement de végétation potentielle MS ont les hauteurs dominantes et les DHP moyens les plus élevés, tandis que celles sur le regroupement RE ont ceux les plus faibles (Voir Tableau 3). En moyenne, les plantations d'épinette noire ont une hauteur dominante de 6,5 m ($1,6 \leq x \leq 11,8$) et un DHP moyen de 5,5 cm ($0,6 \leq x \leq 13,1$), tandis que celles de pin gris ont une hauteur dominante de 9,8 m ($6,3 \leq x \leq 13,7$) et un DHP moyen de 9,6 cm ($5,3 \leq x \leq 13,3$) (Voir Tableau 3). Les résultats démontrent que les plantations, notamment celles d'épinette noire, sont en transition entre le stade gaulis, représenté par un peuplement dont les tiges sont de valeur non marchande ($DHP \leq 9$ cm), et le stade perchis, représenté par un peuplement dont les tiges sont de valeur marchande ($DHP \geq 9,1$ cm, < 20 cm). Finalement, les plantations inventoriées ont une densité d'arbres reboisés d'environ 2000 tiges à l'hectare et l'erreur type démontre qu'il y a une différence significative uniquement entre les plantations d'épinette noire inventoriées sur le regroupement de végétation potentielle RS, qui ont une densité moyenne de 2200 tiges à l'hectare, et celles sur le regroupement MS qui ont une densité moyenne de 1840 tiges à l'hectare (Voir Figure 8).

Tableau 3. Caractéristiques des arbres reboisés dans les plantations d'épinette noire et de pin gris en fonction du regroupement de végétation potentielle. Les valeurs qui suivent le symbole \pm représentent l'erreur type.

Plantation	Végétation potentielle	N	Âge	Hauteur dominante (m)	DHP moyen planté (cm)
Épinette noire	RE	19	28 \pm 1	5,7 \pm 0,2	4,0 \pm 0,1
	RS	22	26 \pm 1	6,3 \pm 0,2	5,4 \pm 0,1
	MS	9	27 \pm 1	8,8 \pm 0,3	9,2 \pm 0,2
	Total	50	27 \pm0	6,5 \pm0,2	5,5 \pm0,1
Pin gris	RE	13	27 \pm 1	9,3 \pm 0,2	9,2 \pm 0,1
	RS	9	28 \pm 1	10,5 \pm 0,3	10,2 \pm 0,2
	Total	22	27 \pm1	9,8 \pm0,2	9,6 \pm0,1

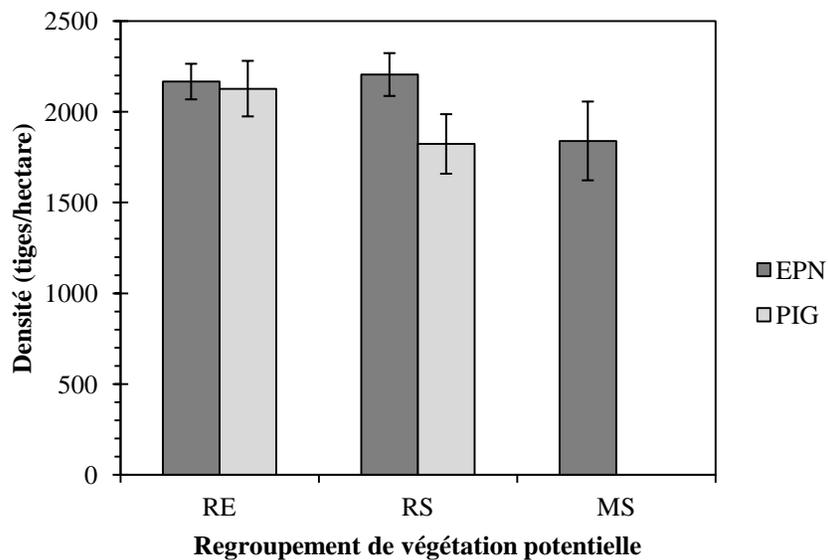


Figure 8. Densité des plantations d'épinette noire et de pin gris en fonction du regroupement de végétation potentielle. (n=50 pour EPN et n=22 pour PIG). Les barres indiquent l'erreur-type. Voir Figure 2 pour les abréviations.

5. INDICE DE QUALITÉ DE LA STATION

5.1 Définition

Sommairement, la productivité d'un site est une estimation quantitative de son potentiel à produire de la matière ligneuse par unité de surface et de temps (Skovsgaard et Vanclay 2008). L'IQS est la méthode la plus fréquemment utilisée pour exprimer et évaluer cette productivité (Carpentier *et al.* 1989, Alemdag 1991, Laflèche *et al.* 2013, Mauri Ortuno *et al.* 2013). L'IQS est basé sur la relation entre l'âge d'un peuplement et la hauteur dominante. Étant donné que le volume d'un peuplement est fortement influencé par sa hauteur moyenne, son utilisation repose sur le principe que, plus la hauteur à un âge donné est élevée, plus le site est productif (Carpentier *et al.* 1989, Prégent et Végiard 2000, Skovsgaard et Vanclay 2008). Pour les plantations d'épinette noire, l'IQS se calcule à l'âge de référence de 25 ans (Prégent *et al.* 1996), tandis que pour les plantations de pin gris, l'âge de référence est de 15 ans (Bolghari et Bertrand 1984).

5.2 Résultats

Les résultats de l'inventaire forestier dans les plantations d'épinette noire appuient l'utilisation du regroupement de végétation potentielle comme classification de la richesse des sites. Effectivement, les plantations d'épinette noire situées sur le regroupement de végétation potentielle MS ont les IQS_{25} les plus élevés, tandis que celles situées sur le regroupement RE ont les IQS_{25} les plus faibles (Voir Tableau 4). Les plantations de pin gris semblent moins influencées par la richesse des sites (Voir Tableau 4). D'ailleurs, les plantations de pin gris, sur les stations les moins fertiles, permettraient d'obtenir des rendements supérieurs comparativement aux plantations d'épinette noire sur des sites équivalents (Prégent et Végiard 2000). Les résultats des IQS des plantations inventoriées sont comparables, pour les mêmes regroupements de végétation potentielle, à ceux d'une étude régionale (Krause *et al.* 2014). Cette étude évalue le rendement de 186 plantations d'épinette noire et de 76 plantations de pin gris réparties dans le domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc et de la pessière à mousses sur le territoire

du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Les résultats de cette étude révèlent que les plantations d'épinette noire sur le regroupement de végétation potentielle RE ont un IQS_{25} moyen de 5 m, celles sur le regroupement RS en ont un de 6 m et celles sur le regroupement MS de 8 m. Tandis que les plantations de pin gris sur le regroupement RE et RS ont un IQS_{15} moyen de 5 m.

Dans les plantations d'épinette noire inventoriées, les IQS_{25} varient entre 2 m et 9 m (Voir Figure 9). Pour les plantations d'épinette noire sur le regroupement de végétation potentielle RE, les IQS_{25} varient entre 2 m et 6 m et près de 90 % ont des IQS_{25} entre 4 m et 6 m (Voir Figure 9). Les plantations sur le regroupement de végétation potentielle RS ont des IQS_{25} plus étalées. Effectivement, ces plantations ont des IQS_{25} entre 3 m et 8 m et les plus fortes proportions se retrouvent dans les catégories d' IQS_{25} de 8 m et de 5 m (Voir Figure 9). Finalement, les plantations sur le regroupement de végétation potentielle MS ont des IQS_{25} variant entre 6 m et 9 m et les plus fortes proportions se retrouvent dans les catégories d' IQS_{25} de 7 m et de 8 m (Voir Figure 9). Les IQS_{15} des plantations de pin gris inventoriées sont moins étendus que ceux des plantations d'épinette noire, variant entre 3 m et 6 m (Voir Figure 10). Les plantations de pin gris sur le regroupement de végétation potentielle RE ont des IQS_{15} variant entre 3 m et 5 m et près de 80 % de ces plantations ont des IQS_{15} de 5 m (Voir Figure 10). Les plantations de pin gris sur le regroupement de végétation potentielle RS ont des IQS_{15} variant entre 4 m et 6 m et les plus fortes proportions se retrouvent également dans la catégorie d' IQS_{15} de 5 m, bien que les plantations soient réparties plus équitablement entre les diverses catégories d' IQS_{15} (Voir Figure 10).

Tableau 4. IQS des plantations d'épinette noire et de pin gris en fonction du regroupement de végétation potentielle. Les valeurs qui suivent le symbole \pm représentent l'erreur type.

Plantation	Végétation potentielle	N	IQS _{25 EPN} IQS _{15 PIG (m)}
Épinette noire	RE	19	5 \pm 0,2
	RS	22	6 \pm 0,3
	MS	9	8 \pm 0,3
	Total	50	6 \pm0,2
Pin gris	RE	13	5 \pm 0,2
	RS	9	5 \pm 0,2
	Total	22	5 \pm0,1

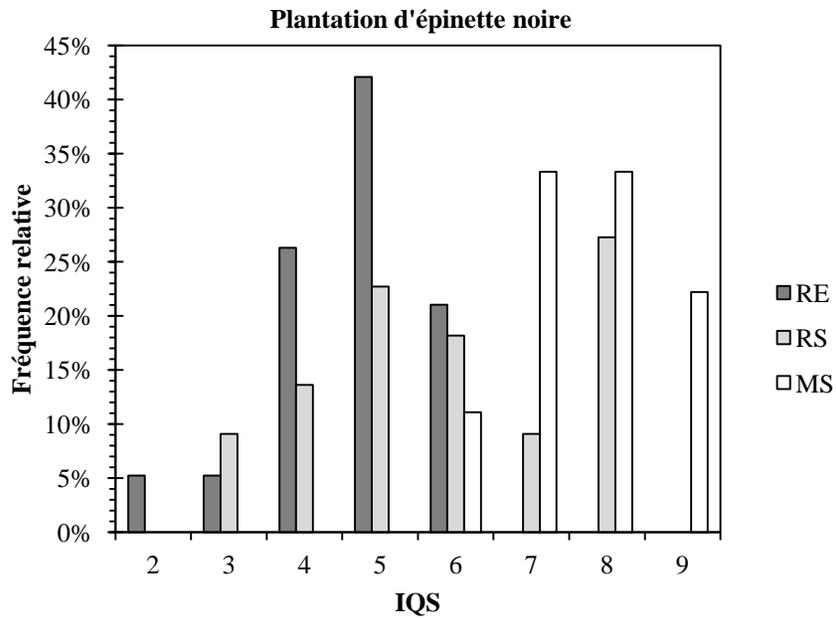


Figure 9. Distribution des IQS des plantations d'épinette noire selon le regroupement de végétation potentielle. (n=19 pour RE, n=22 pour RS et n=9 pour MS).



Figure 10. Distribution des IQS des plantations de pin gris selon le regroupement de végétation potentielle. (n=13 pour RE et n=9 pour RS).

6. RÉGÉNÉRATION NATURELLE DANS LES PLANTATIONS

6.1 Composition de la régénération dans les plantations

Les résultats de l'inventaire forestier dans les plantations démontrent qu'il y a une proportion non négligeable de tiges d'origine naturelle (Voir Figure 11 et 12). Dans les plantations d'épinette noire inventoriées, environ 35 % des tiges sont des arbres naturels (Voir Figure 11). De plus, les résultats démontrent que les arbres d'origine naturelle sont majoritairement de mêmes essences que les arbres reboisés. Dans les plantations sur le regroupement de végétation potentielle RE et RS, plus de 90 % du total des arbres présents sont des épinettes noires (Voir Figure 11). Dans les plantations sur le regroupement de végétation potentielle MS, cette essence représente près de 70 % du total des arbres présents (Voir Figure 11). Une tendance similaire est observée dans les plantations de pin gris inventoriées. Effectivement, dans ces plantations, environ 30 % du total des tiges sont des arbres d'origine naturelle et 75 % sont des pins gris d'origine artificielle ou naturelle et ce, peu importe le regroupement de végétation potentielle (Voir Figure 12). Selon les critères du Manuel d'aménagement forestier, une plantation est considérée comme réussie, si plus de 75 % des tiges sont de l'essence désirée, qu'elles soient d'origine artificielle ou naturelle (MRNFP 2003). Par contre, une plantation avec moins de 75 % de tiges de l'essence désirée n'est pas nécessairement non réussie, puisqu'un traitement d'éclaircie peut modifier la composition (BFEC 2015). De plus, les autres essences présentes dans la plantation sont utilisables par l'industrie et donc, récoltables (BFEC 2015).

Les résultats de l'inventaire démontrent également qu'il n'y a qu'une faible proportion d'arbres naturels d'essence feuillue dans les plantations inventoriées. Effectivement, pour les plantations d'épinette noire et celles de pin gris, les essences feuillues représentent moins de 5 % de l'ensemble des arbres qui composent les plantations sur les regroupements de végétation potentielle RE et RS (Voir Figure 11 et 12). Tandis que les essences feuillues dans les plantations d'épinette noire sur le regroupement de végétation potentielle MS représentent environ 15 % de l'ensemble des

arbres (Voir Figure 11). Des études portant sur l'impact des feuillus dans des peuplements d'épinette noire ont démontré que, lorsqu'elles étaient présentes dans de faibles proportions, les essences feuillues pouvaient avoir un impact positif sur la productivité forestière (Strong et La Roi 1983, Kelty 1992, Légaré *et al.* 2004, Légaré 2005, Erskine *et al.* 2006, Potvin et Gotelli 2008, Paquette et Messier 2011, Fradette 2014). Certaines études ont même démontré que cet impact positif était observable lorsque les feuillus étaient présents sur le site jusqu'à un seuil de 40 % de surface terrière (Légaré *et al.* 2004, Légaré 2005). Certaines espèces, comme c'est le cas pour l'épinette noire et les feuillus, présentent différents modes d'utilisation des ressources, ce qui limitent leurs interactions compétitives (Strong et La Roi 1983, Kelty 1992, Man et Lieffers 1999, Fradette 2014). De plus, la présence d'essences feuillues, en faible quantité, permettrait d'augmenter la stabilité du peuplement au vent (Holmgren *et al.* 1997, Lugo 1997) et sa résistance aux perturbations naturelles (Su *et al.* 1996, Holmgren *et al.* 1997, Jactel et Brockerhoff 2007), ainsi que la disponibilité des nutriments du sol (Van Cleve et Noonan 1975, Paré et Cleve 1993, Longpré *et al.* 1994, Paré et Bergeron 1996).

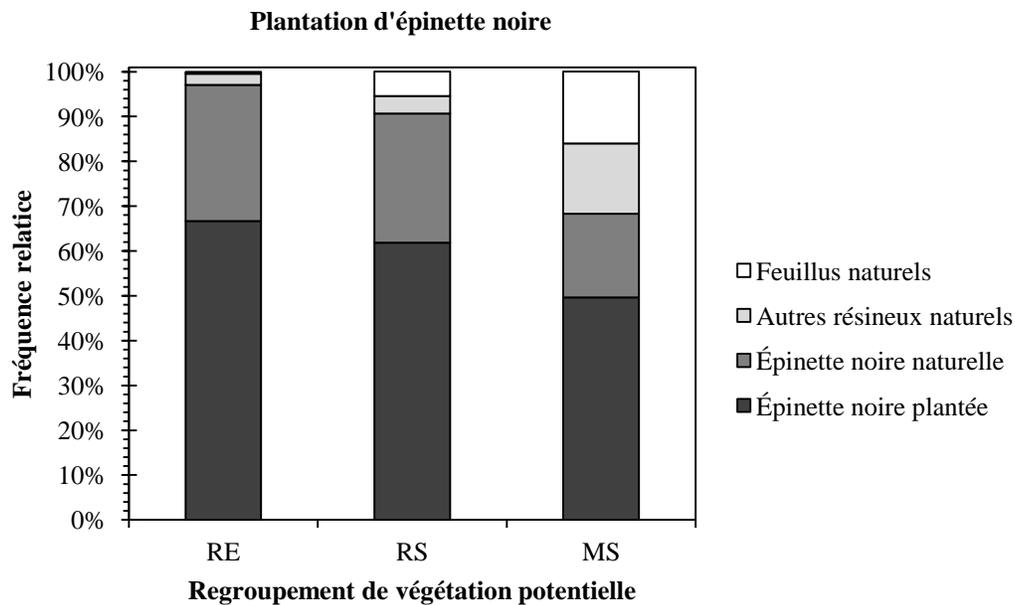


Figure 11. Composition de la régénération plantée et naturelle dans les plantations d'épinette noire selon le regroupement de végétation potentielle. (n=19 pour RE, n=22 pour RS et n=9 pour MS).

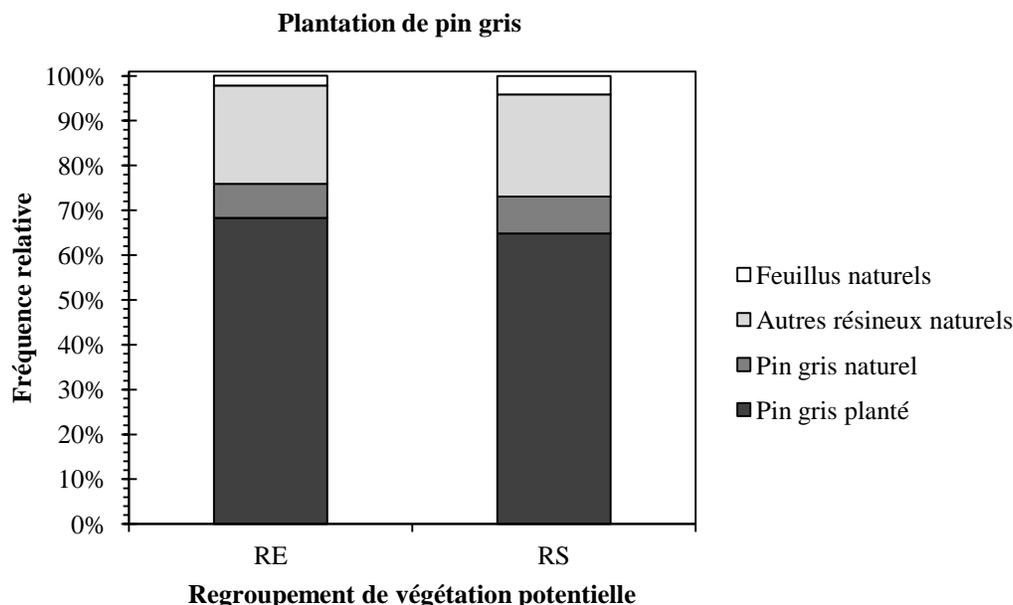


Figure 12. Composition de la régénération plantée et naturelle dans les plantations de pin gris selon le regroupement de végétation potentielle. (n=13 pour RE et n=9 pour RS).

6.2 Composition en essences de la régénération naturelle

Les résultats de la composition en essence de la régénération naturelle démontrent que dans les plantations d'épinette noire sur le regroupement de végétation potentielle RE et RS, elle est principalement constituée d'épinette noire. Effectivement, environ 80 % de la régénération naturelle dans les regroupements RE et RS sont des épinettes noires (Voir Figure 13). Dans les plantations sur le regroupement de végétation potentielle RE, 14 % de la régénération naturelle est composée de pin gris, tandis que le sapin baumier et les essences feuillues, regroupés, en composent moins de 5 % (Voir Figure 13). Les plantations sur le regroupement de végétation potentielle RS sont composées, en plus de l'épinette noire, de 14 % de bouleau blanc et de 6 % de sapin baumier (Voir Figure 13). Pour les plantations sur le regroupement de végétation potentielle MS, le portrait est différent. Seulement 35 % de la régénération naturelle est composée d'épinette noire, tandis que 23 % l'est en sapin baumier, 11 % en mélèze laricin et que 30 % est composée d'essence feuillue, soit du bouleau blanc et du peuplier faux-tremble (Voir Figure 13). La régénération naturelle dans les plantations de pin gris inventoriées est également

composée, majoritairement, d'épinette noire, mais dans des proportions moins élevées. Effectivement, environ 55 % de la régénération naturelle dans les plantations sur le regroupement de végétation potentielle RE et RS est composée d'épinette noire (Voir Figure 14). Dans les plantations sur le regroupement de végétation potentielle RE, 34 % de la régénération naturelle est composé de pin gris, 7 % l'est en essences feuillues et 6 % en sapin baumier (Voir Figure 14). Finalement, les plantations sur le regroupement de végétation potentielle RS sont composées, en plus de l'épinette noire, de 21 % de pin gris, 11 % de sapin baumier et 10 % d'essences feuillues (Voir figure 14). La présence de régénération naturelle dans les plantations permet de créer un peuplement plurispécifique, c'est-à-dire composé de plusieurs essences. Ce type de peuplement permet d'augmenter la naturalité des plantations, répondant ainsi à des enjeux de l'aménagement écosystémique (Paquette et Messier 2010 et Pawson *et al.* 2013). La naturalité est un concept permettant d'évaluer le degré avec lequel un écosystème se rapproche de son état naturel (Angermeier 2000, Çolak *et al.* 2003, Gilg 2004). De plus, les peuplements constitués de plus d'une essence pourraient être davantage productifs (Paquette et Messier 2010 et Pawson *et al.* 2013). Cette augmentation de la productivité est possible lorsque le peuplement est composé d'essence présentant différents modes d'utilisation des ressources, favorisant ainsi un effet de complémentarité des niches écologiques et donc une exploitation optimale des ressources de la station (Kelty 2006, Pretzsch 2009, Pretzsch *et al.* 2010, Paquette et Messier 2011, Zhang *et al.* 2012, Paquette et Messier 2013).

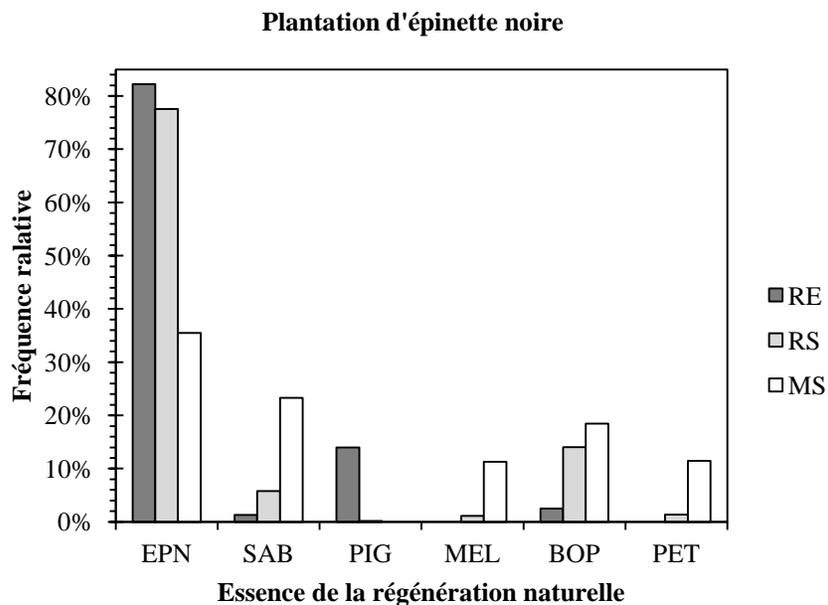


Figure 13. Composition en essence de la régénération naturelle dans les plantations d'épinette noire selon le regroupement de végétation potentielle. (n=19 pour RE, n=22 pour RS et n=9 pour MS). Abréviations : EPN = épinette noire, SAB = sapin baumier, PIG = pin gris, MEL = mélèze laricin, BOP = bouleau blanc et PET = peuplier faux-tremble.

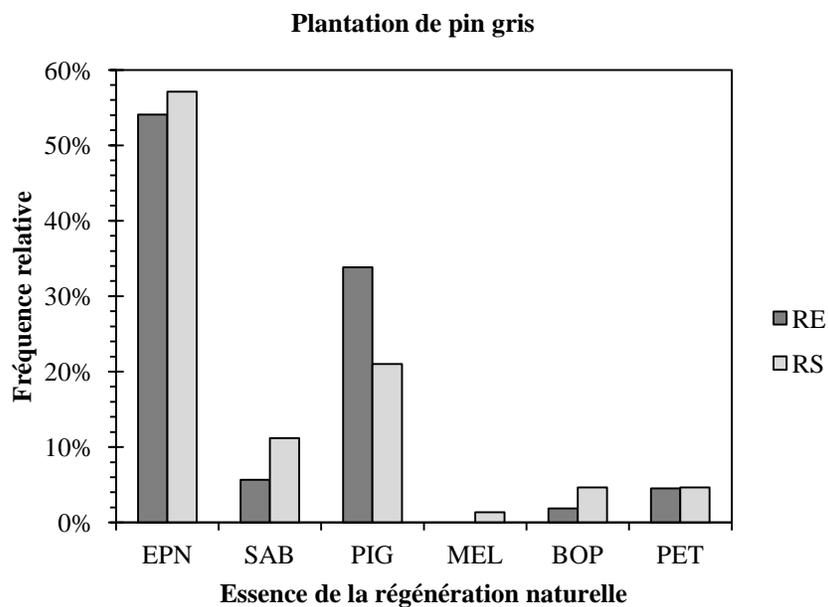


Figure 14. Composition en essence de la régénération naturelle dans les plantations de pin gris selon le regroupement de végétation potentielle. (n=13 pour RE et n=9 pour RS). Voir Figure 12 pour les abréviations.

7. VOLUME MARCHAND DES PLANTATIONS INVENTORIÉES

7.1 Calcul du volume marchand

Afin d'évaluer le rendement des plantations, des modèles de simulation de croissance provinciaux sont utilisés. Ces modèles permettent de calculer le volume marchand brut à l'hectare à un âge donné d'une plantation en fonction de son IQS et de la densité initiale de reboisement. Le volume marchand ainsi calculé est une estimation du rendement réel de la plantation (Bolghari et Bertrand 1984, Dale *et al.* 1989, Prégent *et al.* 1996). Ces modèles ont l'avantage de calculer le volume marchand rapidement et à moindre coût (Prégent *et al.* 1996). Ils estiment la croissance dans le temps des tiges reboisées ainsi que de l'évolution de la densité initiale (Bolghari et Bertrand 1984, Prégent *et al.* 1996). Par contre, la régénération naturelle qui s'établit au cours du temps dans les plantations n'est pas considérée dans ces modèles provinciaux.

Afin de comparer le rendement des plantations calculé à partir des modèles de simulation de croissance provinciaux, ce dernier est également calculé à partir de la méthode de Forslund et Paterson (1994). Cette méthode permet de calculer le volume marchand d'une tige en fonction de sa hauteur et de son DHP. L'ensemble des tiges de dimension marchande est ensuite additionné afin d'obtenir le volume marchand de la plantation. Étant donné que seul le DHP des tiges plantées a été mesuré lors de l'échantillonnage, les hauteurs mesurées dans l'étude de Krause *et al.* (2014), portant sur des plantations comparables dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean, sont utilisées pour les tiges de même DHP.

7.2 Modèles provinciaux

Les résultats de l'inventaire forestier démontrent que la régénération naturelle dans les plantations d'épinette noire et de pin gris est au stade de gaulis et donc, très peu de tiges ont atteint des valeurs marchandes de DHP (Voir Tableau 5). En général, la

régénération naturelle a un DHP moyen inférieur à celui des arbres reboisés (Voir Tableau 5). Malgré le jeune âge des arbres d'origine naturelle, quelques-uns ont déjà atteint des valeurs marchandes de DHP et apportent ainsi une contribution au volume marchand de la plantation. Dans les plantations d'épinette noire sur le regroupement de végétation potentielle RE, les arbres d'origine naturelle et de dimension marchande augmentent le volume marchand de la plantation de 47 % (Voir Figure 15). Pour les plantations d'épinette noire sur le regroupement de végétation potentielle RS, cette augmentation est de 13 % et pour celles sur le regroupement MS elle est de 28 % (Voir Figure 15). Bien que ces plantations inventoriées, pour le moment, produisent peu de volume marchand, les résultats de l'inventaire démontrent que le volume marchand des plantations d'épinette noire varie en fonction de la richesse des sites. Effectivement, les plantations sur le regroupement de végétation potentielle MS ont 191 % plus de volume marchand planté que celles sur le regroupement RS et 404 % plus que celles sur le regroupement RE (Voir Figure 15). Les plantations sur le regroupement de végétation potentielle RS ont 73 % plus de volume marchand planté que celles sur le regroupement RE (Voir Figure 15).

Les pins gris ayant une croissance plus rapide que les épinettes noires, en sont à un stade plus avancé dans la transition vers un peuplement marchand et produisent donc plus de volume. L'impact de la richesse des sites sur le volume marchand produit par les plantations de pins gris est moins important que pour celles d'épinette noire. Effectivement, les plantations de pin gris sur le regroupement de végétation potentielle RS ont 22 % plus de volume marchand planté que celles sur le regroupement RE (Voir Figure 16). La régénération naturelle de dimension marchande augmente le volume marchand des plantations de pin gris sur le regroupement de végétation potentielle RE et RS d'environ 10 % (Voir Figure 16).

Tableau 5. DHP moyen des arbres reboisés et des arbres naturels dans les plantations d'épinette noire et de pin gris en fonction du regroupement de végétation potentielle. Les valeurs qui suivent le symbole \pm représentent l'erreur type.

Plantation	Végétation potentielle	N	DHP moyen planté (cm)	DHP moyen naturel (cm)
Épinette noire	RE	19	4,0 \pm 0,1	4,8 \pm 0,6
	RS	22	5,4 \pm 0,1	3,8 \pm 0,2
	MS	9	9,2 \pm 0,2	6,0 \pm 0,8
	Total	50	5,5 \pm0,1	4,6 \pm0,3
Pin gris	RE	13	9,2 \pm 0,1	4,6 \pm 0,5
	RS	9	10,2 \pm 0,2	7,5 \pm 1,1
	Total	22	9,6 \pm0,1	5,8 \pm0,5

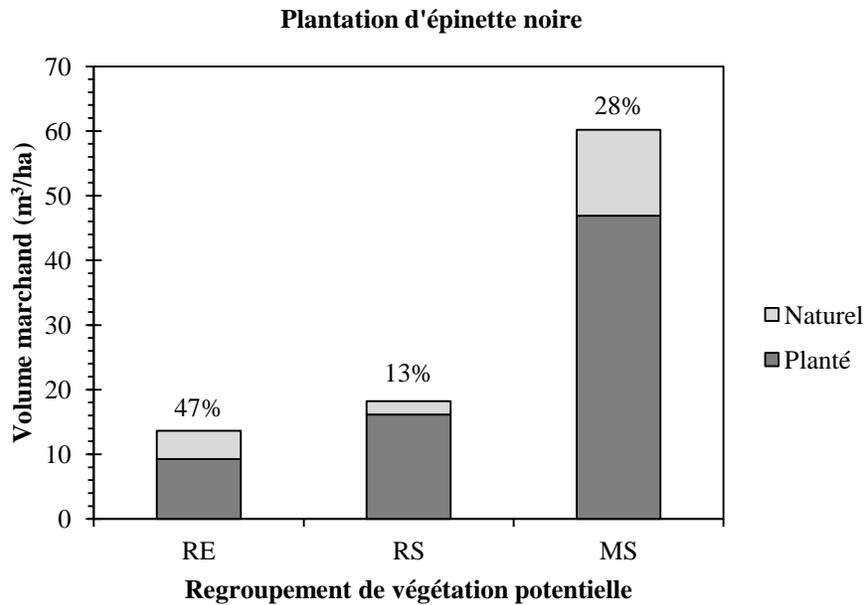


Figure 15. Volume marchand des plantations d'épinette noire (modèles provinciaux) selon le regroupement de végétation potentielle et gain du volume marchand attribuable à la régénération naturelle. (n=19 pour RE, n=22 pour RS et n=9 pour MS). Les pourcentages au dessus des colonnes indiquent le gain en volume marchand attribuable aux arbres naturels.

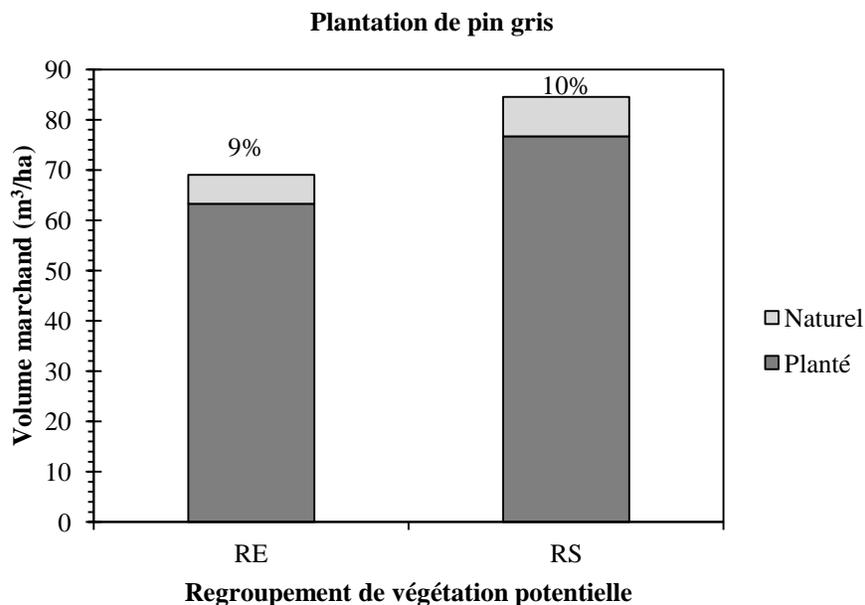


Figure 16. Volume marchand des plantations de pin gris (modèles provinciaux) selon le regroupement de végétation potentielle et gain du volume marchand attribuable à la régénération naturelle. (n=13 pour RE et n=9 pour RS). Les pourcentages au dessus des colonnes indiquent le gain en volume marchand attribuable aux arbres naturels.

7.3 Modèles provinciaux vs Forslund et Paterson

En général, le volume marchand des plantations d'épinette noire calculé à partir de la méthode de Forslund et Paterson est comparable à celui obtenu par les modèles provinciaux. Effectivement, le modèle de Forslund et Paterson calcule un volume marchand dans les plantations d'épinette noire 15 % supérieur à celui calculé par les modèles provinciaux pour les plantations sur le regroupement de végétation potentielle MS et 3 % supérieur pour celles sur le regroupement RS (Voir Figure 17). Par contre, la méthode de Forslund et Paterson calcule un volume marchand des arbres reboisés sur le regroupement RE inférieur de 60 % à celui obtenu avec les modèles provinciaux (Voir Figure 17). Pour les deux méthodes de calcul, le volume varie en fonction de la richesse des sites. Effectivement, les plantations sur le regroupement de végétation potentielle MS présentent les rendements en volume les plus élevés, tandis que celles sur le regroupement RE présentent les plus faibles (Voir Figure 17).

À l'exception des plantations d'épinette noire sur le regroupement de végétation potentielle RE, la contribution au volume marchand des arbres d'origine naturelle et de dimension marchande est comparable peu importe la méthode de calcul utilisée. Dans les plantations d'épinette noire sur le regroupement de végétation potentielle MS, les arbres d'origine naturelle augmentent le volume marchand de la plantation calculé à partir de la méthode de Forslund et Paterson de 25 %, tandis qu'ils l'augmentent de 28 % lorsque le volume est calculé à partir des modèles provinciaux (Voir Figure 17). Pour les plantations d'épinette noire sur le regroupement de végétation potentielle RS, cette augmentation est de 13 % peu importe la méthode utilisée pour calculer le volume marchand (Voir Figure 17). Pour les plantations d'épinette noire sur le regroupement de végétation potentielle RE, comme la méthode de Forslund et Paterson sous-estime le volume marchand de la plantation comparativement aux modèles provinciaux, les arbres d'origine naturelle ont un impact supérieur sur le volume marchand. Effectivement, l'augmentation attribuable aux arbres d'origine naturelle dans les plantations d'épinette noire sur le regroupement RE est de 119 % lorsque le volume est calculé à partir de la méthode de Forslund et Paterson et de 47 % lorsqu'il est calculé avec les modèles provinciaux (Voir Figure 17). Cette contribution importante des arbres d'origine naturelle dans les plantations d'épinette noire sur le regroupement de végétation potentielle RE s'explique, notamment, par les faibles rendements en volume marchand, au moment de l'inventaire, des arbres reboisés (Voir Figure 17).

L'impact de la richesse des sites sur le volume marchand produit par les plantations de pin gris, lorsque le volume est calculé par la méthode de Forslund et Paterson, se démarque d'avantage qu'avec les modèles provinciaux. Effectivement, les plantations de pin gris sur le regroupement de végétation potentielle RS ont 43 % plus de volume marchand planté que celles sur le regroupement RE lorsque la méthode de Forslund et Paterson est utilisée et 22 % avec le calcul par les modèles provinciaux (Voir Figure 18). De plus, la méthode de Forslund et Paterson sous-estime légèrement le volume marchand des plantations de pin gris comparativement au volume obtenu par les modèles provinciaux. Dans les plantations de pin gris sur le regroupement de végétation

potentielle RS, le volume marchand de la plantation calculé par la méthode de Forslund et Paterson est de 34 % inférieur à celui obtenu par les modèles provinciaux et de 22 % inférieur dans les plantations sur le regroupement RE (Voir Figure 18).

Dans les plantations de pin gris, la contribution des arbres d'origine naturelle et de dimension marchande au volume marchand est comparable entre les deux méthodes de calcul. Effectivement, la régénération naturelle de dimension marchande augmente le volume marchand des plantations de pin gris sur le regroupement de végétation potentielle RE et RS d'environ 14 %, lorsque le volume de la plantation est calculé par la méthode de Forslund et Paterson et d'environ 10 % lorsqu'il est calculé avec les modèles provinciaux (Voir Figure 18).

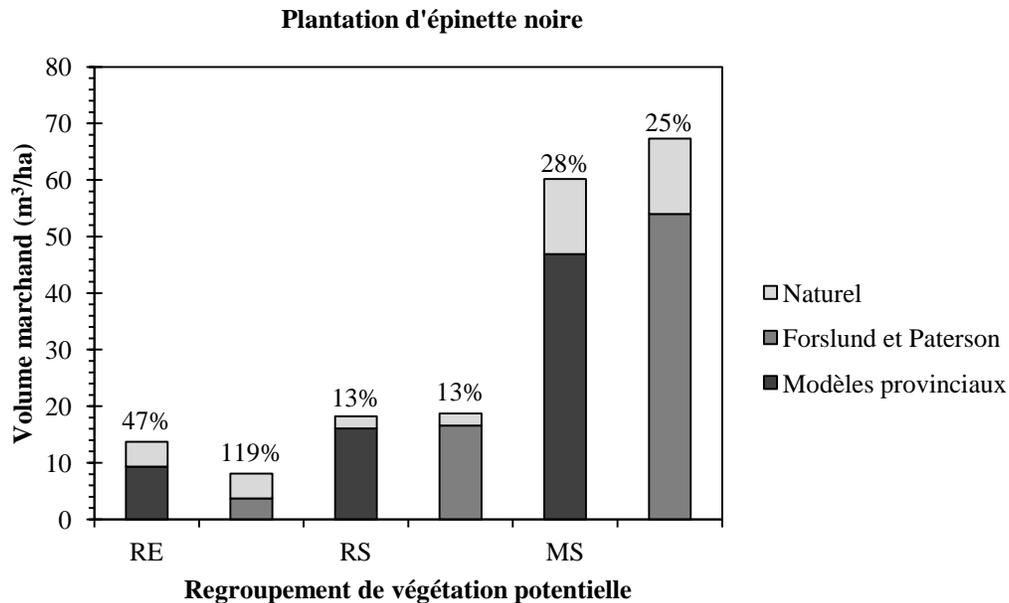


Figure 17. Comparaison de deux méthodes de calcul du volume marchand des plantations d'épinette noire selon le regroupement de végétation potentielle. (n=19 pour RE, n=22 pour RS et n=9 pour MS). Les pourcentages au dessus des colonnes indiquent le gain en volume marchand attribuable aux arbres naturels.

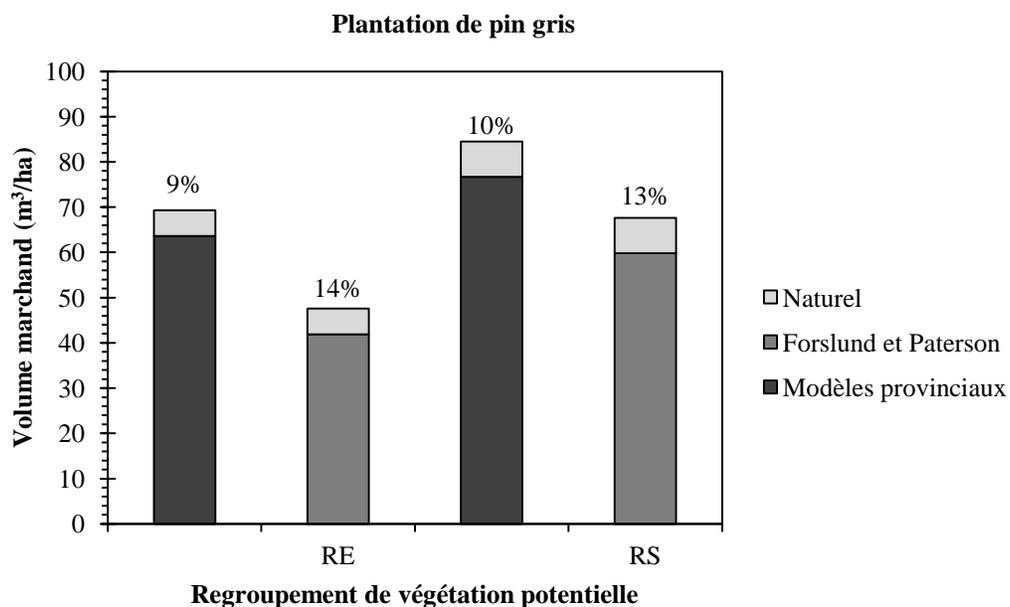


Figure 18. Comparaison de deux méthodes de calcul du volume marchand des plantations de pin gris selon le regroupement de végétation potentielle. (n=13 pour RE et n=9 pour RS). Les pourcentages au dessus des colonnes indiquent le gain en volume marchand attribuable aux arbres naturels.

8. CONCLUSION

L'objectif de l'inventaire forestier dans des plantations d'épinette noire et de pin gris dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean est d'acquérir des données régionales afin de préciser le rendement de ces plantations, notamment en évaluant la contribution en volume de la régénération naturelle à ce rendement. Afin d'atteindre cet objectif, un inventaire forestier de 50 placettes-échantillons dans des plantations d'épinette noire et de 22 placettes-échantillons dans des plantations de pin gris a été réalisé dans la région. Les résultats de cet inventaire ont permis de répondre à l'objectif initial du projet.

Les résultats de l'inventaire démontrent que les plantations inventoriées se situent principalement dans les regroupements de végétation potentielle RE et RS, ainsi que dans le domaine de la sapinière à bouleau blanc. La majorité des plantations inventoriées n'a pas été traitée en EPC. Les plantations inventoriées sont âgées, en moyenne, de 27 ans. Les plantations d'épinette noire situées sur les regroupements de végétation potentielle les plus riches démontrent une croissance supérieure à celles situées sur les regroupements les plus pauvres. La croissance des pins gris semble moins influencée par les richesses des sites que celle des épinettes noires. Les résultats démontrent également que les plantations inventoriées sont en transition entre le stade gaulis, représenté par un peuplement dont les arbres n'ont pas atteint des dimensions marchandes, et le stade perchis, représenté par un peuplement de tiges de valeur marchande. En moyenne, les plantations d'épinette noire et de pin gris ont une densité d'arbres reboisés de 2000 tiges à l'hectare.

L'IQS, basé sur la relation entre l'âge d'un peuplement et la hauteur dominante des arbres, permet d'exprimer et d'évaluer la productivité d'un site. Son utilisation repose sur le principe que, plus la hauteur à un âge donné est élevée, plus le site est productif. Les résultats de l'inventaire forestier dans les plantations d'épinette noire soutiennent l'utilisation du regroupement de végétation potentielle comme classification de la

richesse des sites. Les plantations sur le regroupement de végétation potentielle RE ont un IQS_{25} inférieur à celles sur le regroupement MS. Pour les plantations de pin gris, moins influençables par la richesse des sites, les IQS_{15} ne varient pas en fonction du regroupement de végétation potentielle. Les plantations inventoriées ont été établies sur le territoire forestier avant les années 1996. Ces plantations sont donc issues de graines d'origine naturelle et n'ont pas bénéficié du programme d'amélioration génétique des plants. En moyenne, les plantations d'épinette noire inventoriées sur le regroupement de végétation potentielle RE ont un IQS_{25} de 5 m, tandis que celles sur le regroupement RS en ont un de 6 m et que celles sur le regroupement MS ont un IQS_{25} de 8 m. Les plantations de pin gris inventoriées, tant sur le regroupement de végétation potentielle RE que RS, ont un IQS_{15} de 5 m.

Dans les plantations d'épinette noire et de pin gris, une proportion non négligeable de régénération naturelle est observée. Environ le tiers des tiges présentes dans les plantations sont d'origine naturelle. Lorsque l'ensemble des arbres est considéré, soit les arbres reboisés et ceux d'origine naturelle, l'essence reboisée domine fortement les plantations, tandis que les essences feuillues ne représentent qu'un faible pourcentage. Ainsi, les plantations répondent aux critères de réussite d'une plantation considérant que ces dernières sont réussies si plus de 75 % des tiges sont de l'essence désirée, et ce peu importe l'origine de ces tiges. De plus, un traitement d'éclaircie dans les plantations n'ayant pas 75 % de l'essence reboisée permettrait de corriger la composition de ces plantations et ainsi l'atteinte du critère de réussite. Certaines études ont également démontré que les feuillus, lorsque présents en faibles proportions, pouvaient avoir un impact positif sur la productivité des épinettes noires. Cet impact positif est possible, car les épinettes noires et les feuillus présentent différents modes d'utilisation des ressources. De plus, les feuillus permettraient d'augmenter la stabilité du peuplement au vent, sa résistance aux perturbations naturelles, en plus d'accroître la disponibilité des nutriments du sol.

Lorsque seule la régénération naturelle est évaluée, l'épinette noire est l'essence dominante, tant dans les plantations d'épinette noire que dans celles de pin gris. Dans les plantations de pin gris, une proportion importante de pin gris d'origine naturelle est également présente. Dans les deux types de plantations, du sapin baumier, du mélèze laricin, du bouleau blanc ainsi que du peuplier faux-tremble sont également présents, mais dans de moindres proportions. La présence de diverses essences issues de la régénération naturelle augmente la naturalité de la plantation, en créant un peuplement plurispécifique, permettant ainsi de répondre à des enjeux écologiques. De plus, lorsque composés d'essences occupant des niches écologiques complémentaires, la plurispécificité des peuplements peut favoriser l'augmentation de la productivité de la station.

Le rendement en volume marchand des plantations est évalué à partir de modèles de simulation de croissance provinciaux, considérant uniquement les arbres reboisés. Les résultats démontrent que, malgré le jeune âge des plantations inventoriées, quelques arbres reboisés et naturels ont atteint des dimensions marchandes, permettant d'évaluer la contribution de la régénération naturelle au rendement de ces plantations. Au moment de l'inventaire, la régénération naturelle de dimension marchande augmente, en moyenne, le volume marchand des épinettes noires et des pins gris reboisés de 26 % et de 10 %, respectivement. Lorsque le volume marchand est calculé à partir de la méthode de Forslund et Paterson (1994), méthode sans prélèvement d'arbre la plus précise, la contribution de la régénération naturelle de dimension marchande au volume marchand des épinettes noires est de 27 % et de 13 % à celui des pins gris. Ainsi, peu importe la méthode de calcul du volume marchand utilisée dans ce rapport, l'apport de la régénération naturelle au volume marchand de la plantation est comparable. Malgré le jeune âge des plantations et de la régénération naturelle présente, ces résultats donnent une bonne indication du gain significatif du rendement attribuable à cette régénération naturelle. Cependant, d'autres mesurages, lorsque le peuplement, incluant la régénération naturelle, aura atteint le stade perchis permettront de préciser cette contribution.

9. RÉFÉRENCES

- Alemdag, I. S. 1991. National site-index and height-growth curves for white spruce growing in natural stands in Canada. *Canadian Journal of Forest Research* **21**:1466-1474.
- Angermeier, P. L. 2000. The natural imperative for biological conservation. *Conservation Biology* **14**: 373-381.
- Béland, M., Bergeron, Y., Harvey, B., et Robert, D. 1992. Quebec's ecological framework for forest management: a case study in the boreal forest of Abitibi. *Forest Ecology and Management* **49** (3-4):247-266.
- Bureau du forestier en chef. 2013. Manuel de détermination des possibilités forestières 2013-2018. *Édité par* Gouvernement du Québec, Roberval, Québec, p. 247.
- Bureau du forestier en chef. 2015. Succès des plantations. Avis du forestier en chef. FEC-AVIS-04-2015. Roberval, Québec, p. 28.
- Bolghari, H. A., et Bertrand, V. 1984. Tables préliminaires de production des principales essences résineuses plantées dans la partie centrale du sud du Québec. Mémoire de recherche forestière N°79. *Édité par* Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, Service de la Recherche, Gouvernement du Québec, p. 416.
- Carpentier, J. P., Lacombe, L., et Tardif, P. 1989. Modélisation de la croissance et du rendement des peuplements de peuplier faux-tremble au Québec. *Édité par* Ministère de l'Énergie et des Ressources (Forêts), Direction de la recherche et du développement, Gouvernement du Québec, p. 260.
- Castonguay, S. 2006. Foresterie scientifique et reforestation: l'État et la production d'une "forêt à pâte" au Québec dans la première moitié du XX^e siècle. *Revue d'histoire de l'Amérique française* **60** (1-2) :61-93.
- Cimon, A., et Labbé, P. 2006. Lignes directrices visant à encadrer la pratique de l'éclaircie précommerciale afin d'assurer le maintien de la biodiversité. *Édité par* Ministère des ressources naturelles et de la faune, Direction de l'environnement forestier, Gouvernement du Québec, p. 20.
- Çolak, A. H., Rotherham, I. D., Çalikoglu, M. 2003. Combining "Naturalness Concepts" with close-to-nature silviculture. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* **122**: 421-431.
- Côté, M. 2003. Dictionnaire de la foresterie. Les Presses de l'Université Laval, Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, Sainte-Foy, Québec.
- Dale, M. E., Lutz, D. E., Bailey, H. J. 1989. Yield of white pine plantations in Ohio. *Northern Journal of Applied Forestry* **6** :51-56.
- Dancause, A. 2008. Le reboisement au Québec. Guide technique. Les publications du Québec, Québec, p. 177.

DIF. 2014. Norme d'inventaire écoforestier des placettes-échantillons temporaires – Normes techniques. *Édité par* Ministère des Ressources naturelles, Direction des inventaires forestiers, Gouvernement du Québec, p. 187.

Erskine, P., Lamb, D., et Bristow, M. 2006. Tree species diversity and ecosystem function: Can tropical multi-species plantations generate greater productivity? *Forest Ecology and Management* **233** (2-3):205-210.

FAO. 2004. Mise à jour de l'évaluation des ressources forestières mondiales a 2005 : Termes et définitions (Version définitive). *Édité par* Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Programme d'évaluation des ressources forestières, p. 36.

Forslund, R. R. et Paterson, J. M. 1994. Nondestructive volume estimates of 11-year-old jack pine and black spruce using the power function volume model. *The Forestry Chronicle* **70** (6) :762-767.

Fortin, M., DeBlois, J., Bernier, S., et Blais, G. 2007. Mise au point d'un tarif de cubage général pour les forêts québécoises : une approche pour mieux évaluer l'incertitude associée aux prévisions. *The Forestry Chronicle* **83** (5) :754-765.

Fradette, J. 2014. Effet de la proximité des feuillus sur la croissance de l'épinette noire et de l'épinette blanche dans un contexte de plantation : le dégagement est-il toujours souhaitable ? Université du Québec en Abiti-Témiscamingue, p. 83.

Gilg, O. 2004. Old-Growth Forests Characteristics, conservation and monitoring. *Dans* Habitat and species management technical, report N°74 bis : Montpellier, p. 96.

Gravel, J., Thiffault, N., et Prigent, G. 2014. La plantation uniforme résineuse. *Édité par* Direction de l'aménagement et de l'environnement forestiers et Direction de la recherche forestière, Gouvernement du Québec, p. 4.

Heinselman, M. L. 1981. Fire and succession in the conifer forests of northern North America. *Dans* D.C. West, H.H. Shugart, et D.B. Botkin (éditeurs), *Forest succession, concepts and application*. New York: Springer-Verlag, p. 374-405.

Holmgren, M., Scheffer, M., et Huston, M. A. 1997. The interplay of facilitation and competition in plant communities. *Ecology* **78** (7):1966-1975.

Jactel, H., et Brockerhoff, E. 2007. Tree diversity reduces herbivory by forest insects. *Ecology Letters* **10** (9):835-848.

Kelty, M. J. 1992. Comparative productivity of monocultures and mixed-species stands. *Dans* The ecology and silviculture of mixed-species forests. *Édité par* Kelty M. J.: Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, p. 125-141.

Kelty, M. J. 2006. The role of species mixtures in plantation forestry. *Forest Ecology and Management* **233** (2-3): 195-204.

Krause, C., Morin, H. et Plourde, P.-Y. 2009. Juvenile growth of black spruce (*Picea mariana* [Mill.] BSP) stands established during endemic and epidemic attacks by spruce

budworm (*Choristoneura fumiferana* [Clemens]) in the boreal forest of Quebec, Canada. *The Forestry Chronicle* **85** (2) :267-276.

Krause, C., Plourde, P.-Y., Girard, J.-P., et Bouchard, M. 2014. Rendement anticipé des plantations d'épinette noire et de pin gris dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Université du Québec à Chicoutimi et Ministère des Ressources naturelles, p. 65.

Laflèche, V., Bernier, S., Saucier, J. P., et Gagné, C. 2013. Indices de qualité de station des principales essences commerciales en fonction des types écologiques du Québec méridional. Québec. *Édité par* Ministère des Ressources naturelles, Direction des inventaires forestiers, p. 115.

Laflèche, V., et Tremblay, S. 2008. Résultats de cinq ans de la mesure des effets réels du traitement d'éclaircie précommerciale de peuplements à dominance résineuse. *Édité par* Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière, Gouvernement du Québec.

Lamhamedi, M. S., Gagnon, J., et Colas, F. 2003. Recherche-développement en production de semences et de plants forestiers au Québec: principales réalisations et perspectives d'avenir. Papier présenté au Carrefour de la recherche forestière, Centre des congrès de Québec, p. 17-32.

Légaré, S., Paré, D., et Bergeron, Y. 2004. The response of black spruce growth to an increased proportion of aspen in mixed stands. *Canadian Journal of Forest Research* **34** :405-416.

Légaré, S. 2005. Influence du peuplier faux-tremble sur le cycle des éléments nutritifs, la strate du sous-bois et la productivité des peuplements forestiers dominés par l'épinette noire dans la forêt boréale de l'ouest du Québec. Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue.

Liechty, H. O., Reed, D. D., et Mroz, G. D. 1988. An interim economic comparison of thinning treatments in a high site quality red pin plantation. *Northern Journal of Applied Forestry* **5** (3):211-215.

Longpré, M. H., Bergeron, Y., Paré, D., et Béland, M. 1994. Effect of companion species on the growth of jack pine (*Pinus banksiana*). *Canadian Journal of Forest Research* **24**:1846-1853.

Lugo, A. E. 1997. The apparent paradox of reestablishing species richness on degraded lands with tree monocultures. *Forest Ecology and Management* **99** (1-2):9-19.

Lussier, J.-M., Morin, H. et Gagnon, R. 2002. Évolution de la structure diamétrale et production ligneuse des pessières noires issues de coupe et de feu. *Canadian Journal of Forest Research* **32** (3):526-538.

Man, R., et Lieffers, V. 1999. Are mixtures of aspen and white spruce more productive than single species stands? *Forestry Chronicle* **75**:505-514.

Mauri Ortuno, E., Gasser, D., Bilodeau Gauthier, S., et Malenfant, A. 2013. Validation de la valeur prédictive de l'indice de qualité de station potentiel modélisé de l'épinette blanche et implications pour la sélection des aires d'intensification de la production ligneuse en forêt publique gaspésienne. Gaspésie, Québec: Consortium en foresterie Gaspésie-les-Îles, p. 85.

MFFP. 2015. Normes techniques d'inventaire forestier des plantations d'épinette noire et de pin gris. *Édité par* Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction générale du Saguenay-Lac-Saint-Jean, Gouvernement du Québec, p. 29.

Morin, H., et Laprise, D. 1990. Histoire récente des épidémies de la Tordeuse des bourgeons de l'épinette au nord du Lac-St-Jean (Québec): une analyse dendrochronologique. *Canadian Journal of Forest Research* **20**:1-8.

MRN. 2002. La coupe avec protection de la régénération et des sols. *Édité par* Ministère des Ressources Naturelles, p. 2.

MRNF. 1994. Une stratégie : Aménager pour mieux protéger les forêts. *Édité par* Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction des programmes forestiers, Gouvernement du Québec, p. 197.

MRNF. 2011. Instructions relatives à l'application de l'arrêté ministériel sur la valeur des traitements sylvicoles admissibles en paiement des droits - Exercices 2010-2013. *Édité par* Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'aménagement et de l'environnement forestiers, Gouvernement du Québec, p. 129.

MRNFP. 2003. Manuel d'aménagement forestier. 4^e Édition. *Édité par* Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Gouvernement du Québec.

Nyland, R. D. 2002. Silviculture: concepts and applications. Waveland Press, Long Grove, IL, p. 682.

Paquette, A., et Messier, C. 2010. The role of plantations in managing the world's forests in the Anthropocene. *Frontiers in Ecology and the Environment* **8** (1): 27-34.

Paquette, A., et Messier, C. 2011. The effect of biodiversity on tree productivity: from temperate to boreal forests. *Global Ecology and Biogeography* **20** (1):170-180.

Paquette, A., et Messier, C. 2013. Managing tree plantations as complex adaptive systems. *Dans* Managing forests as complex adaptive systems: building resilience to the challenge of global change. *Édité par* Messier C., Puettmann, K. J., et Coates, K. D., New York : EarthScan from Routledge, p. 368.

Paré, D., et Bergeron, Y. 1996. Effect of colonizing tree species on soil nutrient availability in a clay soil of the boreal mixedwood. *Canadian Journal of Forest Research* **26**:1022-1031.

Paré, D., et Van Cleve, K. 1993. Aboveground biomass production and nutrient accumulation on postharvested white spruce sites in interior Alaska. *Canadian Journal of Forest Research* **23** (6):1233-1239.

Parent, B. 2002. Ressources et industries forestières: Portrait statistique. Édition 2002. *Édité par* Ministère des Ressources naturelles, Direction du développement de l'industrie des produits forestiers, Gouvernement du Québec, p. 397.

Parent, B. 2010. Ressources et industries forestières : Portrait statistique. Édition 2010. *Édité par* Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction du développement de l'industrie des produits forestiers, Gouvernement du Québec, p. 498.

Parent, B. 2015. Ressources et industries forestières : Portrait statistiques. Édition 2015. *Édité par* Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Gouvernement du Québec, p. 106.

Pawson, S. M., Brin, A., Brockeroff, E. G., Lamb, D., Lindenmayer, D. B., Payn, T. W., Paquette, A., et Parrotta, J. A. 2013. Plantation forests, climate change and biodiversity. *Biodiversity and Conservation* **22** (5): 1203-1227.

Perron, P. Y. 2003. Tarif de cubage général : Volume marchand brut. *Édité par* Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction des inventaires forestiers, Gouvernement du Québec, p. 60.

Petras, R. 2002. Age and diameter classes or growth stages as criteria for the implementation of thinning. *Journal of Forestry Science* **48** (1):8-15.

Poinsot, D. 2004. Statistiques pour statophobes. [en ligne : <http://perso.univ-rennes1.fr/denis.poinsot>].

Potvin, C., et Gotelli, N. J. 2008. Biodiversity enhances individual performance but does not affect survivorship in tropical trees. *Ecology Letters* **11** (3):217-223.

Poulin, J. 2013. Création des courbes d'évolution : Calcul des possibilités forestières 2013-2018. Bureau du forestier en chef, Roberval, Québec, p. 53.

Prégent, G., Bertrand, V., et Charrette, L. 1996 Tables préliminaires de rendement pour les plantations d'épinette noire au Québec. *Édité par* Ministère des Ressources naturelles, Gouvernement du Québec, p. 70.

Prégent, G., et Végiard, S. 2000. Rendement anticipé des plantations d'épinette noir *Édité par* Direction de la recherche forestière, Gouvernement du Québec, p. 12.

Prégent, G., Picher, G., et Auger, I. 2010. Tarif de cubage, tables de rendement et modèles de croissance pour les plantations d'épinette blanche au Québec. *Édité par*: Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la Recherche Forestière, Gouvernement du Québec, p. 73.

Pretzsch, H. 2009. Effects of species mixture on tree and stand growth. Dans *Forest dynamics, growth and yield: from measurement to model*. *Édité par* Pretzsch, H., Berlin : Springer, p. 337-380.

Pretzsch, H., Block, J., Dieler, J., Dong, P. H., Kohnle, U., Nagel, J., Spellmann, H., et Zingg, A. 2010. Comparison between the productivity of pure and mixed stands of

Norway spruce and European beech along an ecological gradient. *Annals of Forest Science* **67** (7): 712.

Quinn, G. P., et Keough, M. J. 2002. Experimental design and data analysis for biologists. *Édité par* Cambridge University Press, Cambridge, U.K.

Rudolph, T. D., et Laidly, P. R. 1990. *Pinus banksiana* Lamb. Jack Pine. *Dans*: Silvics of North America. Vol. 1, Conifers. Agriculture Handbook 654.

Saucier, J. P., Brisson, J., Gauthier, S., Grondin, P., Lavoie, C., Leduc, A., Morin H., Morneau, C., Payette, S., Richard, P. J. H., Robitaille, A., Sirois, L., et Thiffault, É. 2009. Écologie forestière. *Dans* Manuel de foresterie - Nouvelle édition entièrement revue et augmentée. *Édité par* Doucet, R., et Côté, M., Québec: Éditions Multimondes et Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, p. 165-316.

Savill, P., Evans, J., Auclair, D., et Falck, J. 1997. Plantation silviculture in Europe. Oxford University Press, Oxford, UK.

Sirois, L., et Payette, S. 1989. Postfire black spruce establishment in subarctic and boreal Quebec. *Canadian Journal of Forest Research* **19**:1571-1580.

Skovsgaard, J. P., et Vanclay, J. K. 2008. Forest site productivity: a review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands. *Forestry* **81** (1):13-31.

Strong, W. L., et La Roi, G. H. 1983. Root-system morphology of common boreal forest trees in Alberta. *Canadian Journal of Forest Research* **13**:1164-1173.

Su, Q., Needham, T. D. et Maclean, D. A. 1996. The influence of hardwood content on balsam fir defoliation by spruce budworm. *Canadian Journal of Forest Research* **26** (9):1620-1628.

Thiffault, N., Roy, V., Prigent, G., Cyr, G., Jobidon, R., et Ménétrier, J. 2003. La sylviculture des plantations résineuses au Québec. *Le Naturaliste Canadien* **127** (1) :63-80.

Thiffault, N., et Roy, V. 2011. Living without herbicides in Quebec (Canada): Historical context, current strategy, research and challenges in forest vegetation management. *European Journal of Forest Research* :17.

Thiffault, N., Roy, V., et Ménétrier, J. 2013. La plantation. Chapitre 11. *Dans* Le Guide sylvicole du Québec, Tome 2 - Les concepts et l'application de la sylviculture. *Édité par* Larouche, C., Guillemette, F., Raymond, P., et Saucier, J.-P., p. 196-225.

Tremblay, S., Guillemette, F., et Barrette, M. 2011. Chapitre 14 - L'éclaircie précommerciale, *Dans* : Guide sylvicole. *Édité par* Ministère des Ressources naturelles, p. 272-299.

Trottier, F. 1998. Performance des plantations établies par le ministère des Ressources naturelles, dans les forêts publiques du Québec, de 1986 à 1995. *Édité par* Ministère des Ressources naturelles, Direction de l'assistance technique, p. 124.

Vallée, G. 1972. Recherche et développement sur le peuplier dans la région de l'est-du-Québec. I - Présentation des projets. *Édité par* Ministère des Terres et Forêts, Service de la recherche, Gouvernement du Québec, p. 113.

Van Cleve, K., et Noonan, L. L. 1975. Litter fall and nutrient cycling in the forest floor of birch and aspen stands in interior Alaska. *Canadian Journal of Forest Research* **5**:626-639.

Viereck, L. A., et Johnston, W. F. 1990. *Picea mariana* (Mill.) B.S.P. Black spruce. *Dans*: Silvics of North America. Vol. 1, Conifers. Agriculture Handbook 654.

Wagner, R. G., Newton, M., Cole, E. C., Miller, J. H., et Shiver, B. D. 2004. The role of herbicides for enhancing forest productivity and conserving land for biodiversity in North America. *Wildlife Society Bulletin* **32** (4):1028-1041.

Zhang, Y., Chen, H. Y. H., et Reich, P. B. 2012. Forest productivity increases with evenness, species richness and trait variation: a global meta-analysis. *Journal of Ecology* **100** (3): 742-749.

ANNEXES I – DONNÉES BRUTES

Tableau 6. Volume marchand des arbres reboisés et naturels dans les plantations d'épinette noire et de pin gris inventoriées.

Site	UA	Essence	Végétation potentielle	Âge ³	Volume modèles provinciaux (m ³ /ha)	Volume Forslund et Paterson (m ³ /ha)	Volume naturel (m ³ /ha)
2490	24	Épinette noire	RE	27	0	0	0
24260	24	Épinette noire	RE	23	0	0	0
24005E	24	Épinette noire	RE	28	0	0	6
24007E	24	Épinette noire	RE	29	0	0	10
24014E	24	Épinette noire	RE	27	0	0	0
25225	25	Épinette noire	RE	24	0	0	2
25263	25	Épinette noire	RE	24	0	0	1
25015E	25	Épinette noire	RE	30	2	0	2
25012E	25	Épinette noire	RE	28	3	0	0
24002E	24	Épinette noire	RE	27	5	0	13
24004E	24	Épinette noire	RE	28	7	0	5
25028E	25	Épinette noire	RE	31	7	1	1
24003E	24	Épinette noire	RE	26	8	1	0
23069E	23	Épinette noire	RE	28	11	28	0
25008E	25	Épinette noire	RE	29	13	1	9
27006E	27	Épinette noire	RE	29	20	1	13
24008E	24	Épinette noire	RE	30	22	0	14
23067E	23	Épinette noire	RE	33	30	28	0
22271	22	Épinette noire	RE	35	46	8	8
22290	22	Épinette noire	RS	22	0	0	2
24214	24	Épinette noire	RS	25	0	0	0
24013E	24	Épinette noire	RS	25	0	0	0
25234	25	Épinette noire	RS	24	0	0	0
25003E	25	Épinette noire	RS	26	0	0	1
27224	27	Épinette noire	RS	24	0	0	0
27268	27	Épinette noire	RS	24	0	0	0
24210	24	Épinette noire	RS	30	2	0	1
24015E	24	Épinette noire	RS	26	5	0	0
27223	27	Épinette noire	RS	26	5	0	0
25004E	25	Épinette noire	RS	26	8	2	1
25001E	25	Épinette noire	RS	26	10	3	0
24210A	24	Épinette noire	RS	30	11	0	3
22289	22	Épinette noire	RS	22	16	2	4

³ Âge total (pépinière + plantation)

Site	UA	Essence	Végétation potentielle	Âge ³	Volume modèles provinciaux (m ³ /ha)	Volume Forslund et Paterson (m ³ /ha)	Volume naturel (m ³ /ha)
27002E	27	Épinette noire	RS	26	17	0	2
23259	23	Épinette noire	RS	22	21	19	5
23065E	23	Épinette noire	RS	26	23	19	0
22276	22	Épinette noire	RS	24	24	15	13
23068E	23	Épinette noire	RS	28	30	46	0
22278	22	Épinette noire	RS	27	41	80	0
23073E	23	Épinette noire	RS	29	56	56	12
23081E	23	Épinette noire	RS	33	86	122	2
22273	22	Épinette noire	MS	24	4	0	7
22274	22	Épinette noire	MS	24	24	11	24
23078E	23	Épinette noire	MS	28	33	52	2
23072E	23	Épinette noire	MS	29	42	49	1
23084E	23	Épinette noire	MS	28	45	48	6
23071E	23	Épinette noire	MS	28	56	73	6
25107E	25	Épinette noire	MS	27	60	100	23
22277	22	Épinette noire	MS	28	61	65	45
22275	22	Épinette noire	MS	30	97	89	6
22291	22	Pin gris	RE	23	28	5	0
232258	23	Pin gris	RE	23	49	41	0
25251	25	Pin gris	RE	26	56	22	0
25239	25	Pin gris	RE	24	57	68	0
27220	27	Pin gris	RE	24	58	15	17
242210	24	Pin gris	RE	25	59	59	0
25535	25	Pin gris	RE	31	61	16	0
25258	25	Pin gris	RE	26	62	45	0
24207	24	Pin gris	RE	28	69	40	0
22286	22	Pin gris	RE	28	71	64	10
24018P	24	Pin gris	RE	29	71	47	2
27219	27	Pin gris	RE	29	90	74	22
25249	25	Pin gris	RE	32	91	49	23
251005	25	Pin gris	RS	25	49	16	0
252236	25	Pin gris	RS	24	51	30	1
251004	25	Pin gris	RS	25	58	82	0
251002	25	Pin gris	RS	28	65	39	10
251003	25	Pin gris	RS	28	74	42	39
23203	23	Pin gris	RS	27	79	68	3
24006P	24	Pin gris	RS	31	79	32	10
22284	22	Pin gris	RS	32	116	119	3
22283	22	Pin gris	RS	33	120	111	4

ANNEXES II - RAPPORT KRAUSE *ET AL.* 2014



RENDEMENT ANTICIPÉ

RENDEMENT ANTICIPÉ

RENDEMENT ANTICIPÉ

RENDEMENT ANTICIPÉ

RENDEMENT ANTICIPÉ

**des plantations d'épinette noire et de pin gris
dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean**

Cornelia Krause - Pierre-Y. Plourde
Jean-Pierre Girard - Mélanie Bouchard

Mars 2014

Ce document est disponible sur demande aux coordonnées suivantes :

Cornelia Krause
Université du Québec à Chicoutimi
Département des sciences fondamentales
555, boulevard de l'université
Chicoutimi (QC)
G7H 2B1
Téléphone : 418-545-5011 poste 5295
Courriel : cornelia_krause@uqac.ca

AVANT-PROPOS

Cette étude sur le *Rendement anticipé des plantations d'épinette noire et de pin gris dans la région du Saguenay—Lac-Saint-Jean* a servi à établir avec précision le calcul du rendement au sein de la zone d'exploitation forestière de la région 02. La campagne d'échantillonnage de l'automne 2013 a permis d'ajouter de nouvelles parcelles en insistant sur la caractérisation des « végétations potentielles » selon les guides en application au ministère des Ressources naturelles (MRN). Toutefois, afin de faciliter la lecture et l'analyse, le terme « type écologique » sera utilisé dans ce document. Cette évaluation est particulièrement importante afin d'estimer la productivité de la forêt naturelle et plantée.

TABLE DES MATIÈRES

Liste des Tableaux.....	ii
Liste des Figures.....	iv
Introduction.....	1
Matériels et méthodes.....	2
<i>Sélection des plantations</i>	2
<i>Protocole d'échantillonnage</i>	5
<i>Estimation du volume</i>	6
<i>Calcul du volume sur pied des peuplements lors de la prise de données</i>	6
<i>Calcul prédictif du volume marchand</i>	6
<i>Épinette noire</i>	7
<i>Pin gris</i>	8
<i>Tests de puissance</i>	9
<i>Analyses statistiques</i>	9
Résultats.....	10
ÉPINETTE NOIRE.....	10
1. <i>Statistiques descriptives</i>	10
2. <i>Calcul du volume du peuplement sur pied lors de la prise de données</i>	11
3. <i>Calcul prédictif du volume marchand</i>	19
4. <i>Tests de puissance</i>	26
PIN GRIS	29
1. <i>Statistiques descriptives</i>	29
2. <i>Calcul du volume du peuplement sur pied lors de la prise de données</i>	30
3. <i>Calcul prédictif du volume marchand</i>	35
4. <i>Tests de puissance</i>	42
Discussion.....	45
<i>Épinette noire</i>	45
<i>Pin gris</i>	46
Conclusion.....	47
Bibliographie.....	48
Annexe I - Tests de puissance	50
Annexe II - Analyses statistiques	53

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Répartition des plantations entre les deux espèces de conifères selon.....	2
Le domaine bioclimatique dans les différentes unités de gestion forestière	
Tableau 2 - Statistiques descriptives et calculs du volume sur pied dans les 186 plantations	12
d'épinette noire	
Tableau 3 - Valeurs moyennes d'IQS à 25 ans et valeurs de volume marchand extrapolées.....	19
à 60 ans d'après le modèle de Prégent <i>et al.</i> (1996) et selon le territoire d'étude et les meilleures parcelles d'épinette noire	
Tableau 4 - Valeurs moyennes d'IQS à 25 ans et valeurs de volume marchand extrapolées	21
à 60 ans d'après le modèle de Prégent <i>et al.</i> (1996) en fonction des domaines bioclimatiques et des meilleures parcelles d'épinette noire	
Tableau 5 - Valeurs moyennes d'IQS à 25 ans et valeurs de volume marchand extrapolées.....	24
à 60 ans d'après le modèle de Prégent <i>et al.</i> (1996) en fonction des types écologiques et des meilleures parcelles d'épinette noire dans le territoire d'étude, la sapinière et la pessière	
Tableau 6 - Valeurs moyennes d'IQS à 25 ans et valeurs de volume marchand extrapolées.....	25
à 60 ans d'après le modèle de Prégent <i>et al.</i> (1996) en fonction de regroupements d'unités d'aménagement (UA) et des meilleures parcelles d'épinette noire au Lac-Saint-Jean et au Saguenay	
Tableau 7 - Valeurs moyennes d'IQS à 25 ans et valeurs de volume marchand extrapolées.....	26
à 60 ans d'après le modèle de Prégent <i>et al.</i> (1996) selon les regroupements d'unités d'aménagement (UA), les types écologiques et les meilleures parcelles d'épinette noire au Lac-Saint-Jean et au Saguenay	
Tableau 8 - Résultats des tests de puissance pour l'épinette noire dans le territoire d'étude.....	27
Tableau 9 - Résultats des tests de puissance pour l'épinette noire dans la sapinière et la pessière.....	28
Tableau 10 - Résultats des tests de puissance pour l'épinette noire dans la sapinière (LSJ_s), la	28
pessière (LSJ_p) et les deux combinées (LSJ_sp) au Lac-Saint-Jean	

**LISTE DES TABLEAUX
(suite)**

Tableau 11 - Résultats des tests de puissance pour l'épinette noire dans la sapinière (SAG_s).....	29
au Saguenay	
Tableau 12 - Statistiques descriptives et calculs du volume sur pied dans les 76 plantations	30
de pin gris	
Tableau 13 - Valeurs moyennes d'IQS à 15 ans et valeurs de volume marchand à 40 ans	35
d'après le modèle de Bolghari et Bertrand (1984) selon le territoire d'étude et les meilleures parcelles de pin gris	
Tableau 14 - Valeurs moyennes d'IQS à 15 ans et valeurs de volume marchand à 40 ans	37
d'après le modèle de Bolghari et Bertrand (1984) en fonction des domaines bioclimatiques et des meilleures parcelles de pin gris	
Tableau 15 - Valeurs moyennes d'IQS à 15 ans et valeurs de volume marchand à 40 ans	40
d'après le modèle de Bolghari et Bertrand (1984) en fonction des types écologiques et des meilleures parcelles de pin gris dans le territoire d'étude, la sapinière et la pessière	
Tableau 16 - Valeurs moyennes d'IQS à 15 ans et valeurs de volume marchand à 40 ans	41
d'après le modèle de Bolghari et Bertrand (1984) en fonction de regroupements d'unités d'aménagement (UA) et des meilleures parcelles de pin gris au Lac-Saint-Jean et au Saguenay	
Tableau 17 - Valeurs moyennes d'IQS à 15 ans et valeurs de volume marchand à 40 ans	41
d'après le modèle de Bolghari et Bertrand (1984) selon les regroupements d'unités d'aménagement (UA), les types écologiques et les meilleures parcelles de pin gris au Lac-Saint-Jean et au Saguenay	
Tableau 18 - Résultats des tests de puissance pour le pin gris dans le territoire d'étude.....	42
Tableau 19 - Résultats des tests de puissance pour le pin gris dans la sapinière et la pessière.....	43
Tableau 20 - Résultats des tests de puissance pour le pin gris dans la sapinière (LSJ_s),	43
la pessière (LSJ_p) et les deux combinées (LSJ_sp) au Lac-Saint-Jean	
Tableau 21 - Résultats des tests de puissance pour le pin gris dans la sapinière (SAG_s).....	44
au Saguenay	

LISTE DES FIGURES

- Figure 1** - Localisation des 186 plantations d'épinette noire à l'étude dans les domaines 3
bioclimatiques de la pessière (vert sombre) et de la sapinière (jaune clair) dans la région
du Saguenay – Lac-Saint-Jean
- Figure 2** - Localisation des 76 plantations de pin gris à l'étude dans les domaines bioclimatiques 4
de la pessière (vert sombre) et de la sapinière (jaune clair) dans la région
du Saguenay – Lac-Saint-Jean
- Figure 3** - Protocole d'échantillonnage dans les parcelles à l'étude 5
- Figure 4** - A. Puissance du test selon la différence détectable d'IQS dans une population donnée; 9
B. Taille de l'échantillon en fonction de la différence détectable à 95%
- Figure 5** - Histogrammes de la dimension des parcelles et du nombre de tiges (hectare) 10
chez les 186 plantations d'épinette noire
- Figure 6** - Histogrammes de la dimension des parcelles et du nombre de tiges (hectare) 11
chez les 186 plantations d'épinette noire selon les domaines bioclimatiques.
Les différences significatives sont illustrées par les lettres a et b.
- Figure 7** - Volume total sur pied (m^3/ha) des 186 plantations d'épinette noire 17
- Figure 8** - Volume total sur pied (m^3/ha) des 133 plantations d'épinette noire dans la sapinière 18
- Figure 9** - Volume total sur pied (m^3/ha) des 53 plantations d'épinette noire dans la pessière 18
- Figure 10** - Histogrammes (%) des classes d'IQS à 25 ans dans les parcelles d'épinette noire 19
- Figure 11** - Volume marchand des plantations d'épinette noire (A) représenté dans le territoire 20
d'étude ($n = 186$) (B) . Les valeurs extrapolées débutent à 35 ans. La valeur à 60 ans
correspond à $175 m^3/ha$.
- Figure 12** - Histogrammes (%) des classes d'IQS à 25 ans dans les parcelles d'épinette noire 21
selon les domaines bioclimatiques
- Figure 13** - Volume marchand des plantations d'épinette noire (A) représenté dans la sapinière 22
($n = 133$) (B). Les valeurs extrapolées débutent à 35 ans. La valeur à 60 ans correspond
à $186 m^3/ha$.

LISTE DES FIGURES

(suite)

- Figure 14** - Volume marchand des plantations d'épinette noire (A) représenté dans la pessière.....23
(n = 53) (B). Les valeurs extrapolées débutent à 35 ans. La valeur à 60 ans correspond à 147 m³/ha.
- Figure 15** - Distribution des classes d'IQS à 25 ans des plantations d'épinette noire dans le.....27
territoire d'étude. La ligne rouge correspond à une courbe de distribution normale.
- Figure 16** - Distribution des classes d'IQS à 25 ans des plantations d'épinette noire dans A.la sapi-27
nière et B. la pessière. La ligne rouge correspond à une courbe de distribution normale.
- Figure 17** - Distribution des classes d'IQS à 25 ans des plantations d'épinette noire au28
Lac-Saint-Jean; A. sapinière et pessière combinées; B. dans la sapinière; C. dans
la pessière. La ligne rouge correspond à une courbe de distribution normale.
- Figure 18** - Distribution des classes d'IQS à 25 ans des plantations d'épinette noire au Saguenay.....29
dans la sapinière. La ligne rouge correspond à une courbe de distribution normale.
- Figure 19** - Histogrammes de la dimension des parcelles et du nombre de tiges (hectare).....29
chez les 76 plantations de pin gris
- Figure 20** - Histogrammes de la dimension des parcelles et du nombre de tiges (hectare).....30
chez les 76 plantations de pin gris selon les domaines bioclimatiques.
Les différences significatives sont illustrées par les lettres a et b.
- Figure 21** - Volume total sur pied (m³/ha) des 76 plantations de pin gris33
- Figure 22** - Volume total sur pied (m³/ha) des 54 plantations de pin gris dans la sapinière34
- Figure 23** - Volume total sur pied (m³/ha) des 22 plantations de pin gris dans la pessière.....34
- Figure 24** - Histogrammes (%) des classes d'IQS à 15 ans dans les parcelles de pin gris35
- Figure 25** - Volume marchand des plantations de pin gris (A) représenté dans le territoire d'étude.....36
(n = 76) (B). La valeur à 40 ans correspond à 156 m³/ha.
- Figure 26** - Histogrammes (%) des classes d'IQS à 15 ans dans les parcelles de pin gris37
selon les domaines bioclimatiques

LISTE DES FIGURES (suite)

- Figure 27** - Volume marchand des plantations de pin gris (A) représenté dans la sapinière 38
(n = 54) (B). La valeur à 40 ans correspond à 157 m³/ha.
- Figure 28** - Volume marchand des plantations de pin gris (A) représenté dans la pessière 39
(n = 22) (B). La valeur à 40 ans correspond à 153 m³/ha.
- Figure 29** - Distribution des classes d'IQS à 15 ans des plantations de pin gris dans le territoire 42
d'étude. La ligne rouge correspond à une courbe de distribution normale.
- Figure 30** - Distribution des classes d'IQS à 15 ans des plantations de pin gris dans A. la sapinière 42
et B. la pessière. La ligne rouge correspond à une courbe de distribution normale.
- Figure 31** - Distribution des classes d'IQS à 15 ans des plantations de pin gris au Lac-Saint-Jean; 43
A. sapinière et pessière combinées; B. dans la sapinière; C. dans la pessière.
La ligne rouge correspond à une courbe de distribution normale.
- Figure 32** - Distribution des classes d'IQS à 15 ans des plantations de pin gris au Saguenay dans 44
la sapinière. La ligne rouge correspond à une courbe de distribution normale.
- Figure 33** - A. Puissance du test selon la différence détectable d'IQS à 25 ans chez les 50
plantations d'épinette noire dans le territoire d'étude; B. Taille de l'échantillon en
fonction de la différence détectable à 95 %.
- Figure 34** - A. Puissance du test selon la différence détectable d'IQS à 25 ans chez les 50
plantations d'épinette noire dans la sapinière; B. Taille de l'échantillon en
fonction de la différence détectable à 95 %.
- Figure 35** - A. Puissance du test selon la différence détectable d'IQS à 25 ans chez les 51
plantations d'épinette noire dans la pessière; B. Taille de l'échantillon en
fonction de la différence détectable à 95 %.
- Figure 36** - A. Puissance du test selon la différence détectable d'IQS à 25 ans chez les 51
plantations de pin gris dans le territoire d'étude; B. Taille de l'échantillon en
fonction de la différence détectable à 95 %.
- Figure 37** - A. Puissance du test selon la différence détectable d'IQS à 25 ans chez les 52
plantations de pin gris dans la sapinière; B. Taille de l'échantillon en
fonction de la différence détectable à 95 %.

LISTE DES FIGURES
(suite)

Figure 38 - A. Puissance du test selon la différence détectable d'IQS à 25 ans chez les 52
plantations de pin gris dans le territoire d'étude; B. Taille de l'échantillon en
fonction de la différence détectable à 95 %.

Introduction

L'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) est la principale essence commerciale que l'on retrouve en forêt boréale. Cette espèce, qui occupe plus de 70 % du couvert forestier au Québec (Parent 1994), est bien adaptée aux feux (Sirois et Payette 1989), aux épidémies d'insectes (Morin et Laprise 1990) et aux coupes forestières (Lussier *et al.* 2002). Toutefois, lorsque des perturbations naturelles successives se produisent, à de courts intervalles dans le temps, on assiste à des ouvertures du milieu (McCarthy 2001) qui rendent la régénération naturelle souvent insatisfaisante (Payette et Delwaide 2003). La deuxième essence en importance est le pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.) qui se régénère bien après des feux de forêt (Heinselman 1981). Sa capacité de régénération demeure toutefois insuffisante après une coupe forestière (Greene *et al.* 1999, Béland *et al.* 2003).

Il est généralement admis qu'après le passage de perturbations naturelles ou anthropiques, une portion du territoire doit être l'objet de travaux de régénération manuelle. Afin de minimiser les dommages de tels événements et d'assurer la pérennité de la forêt, la plantation est le traitement sylvicole qui est préconisé. Le reboisement dans la région du Saguenay – Lac-Saint-Jean (Région 02) a débuté dans les années 80, mais s'est rapidement développé par la suite dans la décennie 90 (OIFQ 2009). À titre d'exemple, au cours de l'année 2011-12 seulement, le nombre de plants mis en terre a atteint plus de 66 millions en forêt publique. Compte tenu de son omniprésence dans le paysage et de la qualité de sa fibre, l'épinette noire est l'essence la plus utilisée pour les reboisements dans la forêt boréale du Québec suivi par le pin gris. En effet, au cours de la même période, les quantités de plants d'épinette noire et de pin gris ont atteint un total supérieur à 119 millions dans la province. À l'échelle du Saguenay – Lac-Saint-Jean, la mise en terre de ces deux espèces correspond à 54 % du reboisement fait au Québec. Cela se traduit par la plantation de 52.6 millions de semis d'épinette noire (plus de 77 %) et de 11.9 millions de semis de pin gris (18 %). La quantité importante de plantations maintenant âgées de plus de 15 ans dans les domaines bioclimatiques de la sapinière et de la pessière permet de déterminer plus précisément le volume ligneux actuel et de prédire le volume marchand dans les années à venir.

Dans un contexte d'aménagement forestier durable, il demeure essentiel de prévoir le rendement à long terme des plantations afin de connaître leurs impacts réels sur la possibilité forestière. Il y a environ 20% de la forêt qui est régénérée par plantation après une coupe forestière. En outre, le rendement qui est attribué aux plantations d'épinette noire en forêt boréale est actuellement basé sur la hauteur, durant les premières années de croissance. Par le passé, à défaut de tables de référence pour les plantations en forêt boréale, le rendement d'un peuplement naturel de densité forte ayant un IQS à 50 ans de 12 m était attribué lorsque la hauteur est inférieure à 6 mètres à 25 ans (Prégent et Végiard 2000). Les calculs actuels de la possibilité forestière attribuent aux plantations un volume marchand de 130 m³/ha à 60 ans dans les domaines bioclimatiques de la sapinière et de la pessière. L'objectif de cette étude est d'obtenir une vue d'ensemble de la production en volume des plantations d'épinette noire et de pin gris âgées entre 19 et 34 ans dans la région 02 au sein des unités de gestion 21, 22, 23, 24, 25 et 27.

Le projet vise précisément à :

- a) Calculer le volume actuel à l'hectare en fonction de l'âge de 186 plantations d'épinette noire et de 76 de pin gris pour mesurer l'étendue de la variabilité;
- b) Établir l'indice de qualité de station (IQS) de plantations âgées de 19 ans et plus selon les domaines bioclimatiques (sapinière et pessière) et les types écologiques (MS, RE2 et RS2);

Le projet vise précisément à (suite) :

- c) Calculer le volume marchand à l'hectare sur un horizon de 35 ans pour les plantations d'épinette noire (extrapolation jusqu'à 60 ans) et de 40 ans pour celles de pin gris selon les domaines bioclimatiques et les types écologiques ainsi que pour des regroupements d'unités d'aménagement (UA) basées sur une proposition du MRN pour jumeler certains territoires d'analyse
- d) Procéder à des tests de puissance afin de déterminer la taille adéquate de l'échantillonnage pour détecter une différence d'une unité d'IQS dans les plantations des deux espèces dans le territoire à l'étude, selon les domaines bioclimatiques et les types écologiques;

Matériels et méthodes

Au cours de l'automne 2010, 2011, 2012 et 2013, une démarche a été entreprise pour dresser un inventaire des plantations d'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) et de pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.) âgées de plus de 19 ans dans les unités de gestion forestière (21, 22, 23, 24, 25 et 27) de la région du Saguenay – Lac-Saint-Jean (02). Cet exercice a été initié dans l'optique de faire une évaluation du rendement actuel et futur de ce traitement sylvicole.

Sélection des plantations

L'utilisation d'un système d'information géographique (SIG) a permis d'identifier une large sélection de plantations potentielles à échantillonner. Le choix des sites a été aléatoire bien que, parmi les parcelles choisies, plusieurs ont été exclues en raison de contraintes d'accessibilité.

Un total de 186 plantations d'épinette noire et 76 de pin gris ont été échantillonnées dans les limites du territoire sous aménagement forestier au sein de six unités de gestion différentes (tableau 1, figures 1 et 2).

Tableau 1 – Répartition des plantations entre les deux espèces de conifères selon le domaine bioclimatique dans les différentes unités de gestion forestière

Unités de gestion	sapinière		pessière	
	épinette noire	pin gris	épinette noire	pin gris
21	32	7	2	1
22	11	11	-	-
23	9	1	3	1
24	15	12	17	1
25	43	13	22	19
27	23	10	9	0
total	133	54	53	22
	187		75	

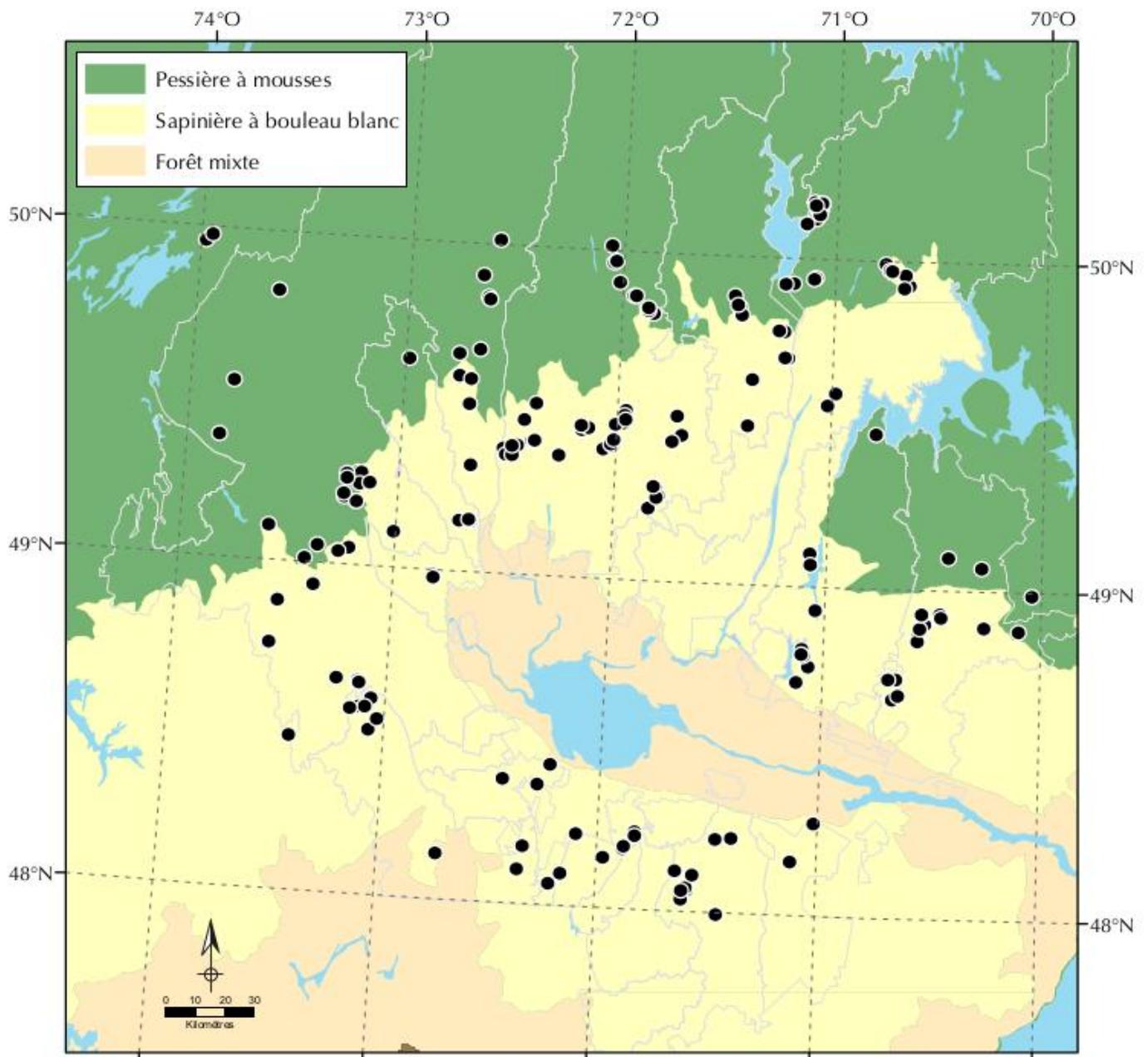


Figure 1 - Localisation des 186 plantations d'épinette noire à l'étude dans les domaines bioclimatiques de la pessière (vert sombre) et de la sapinière (jaune clair) dans la région du Saguenay – Lac-Saint-Jean

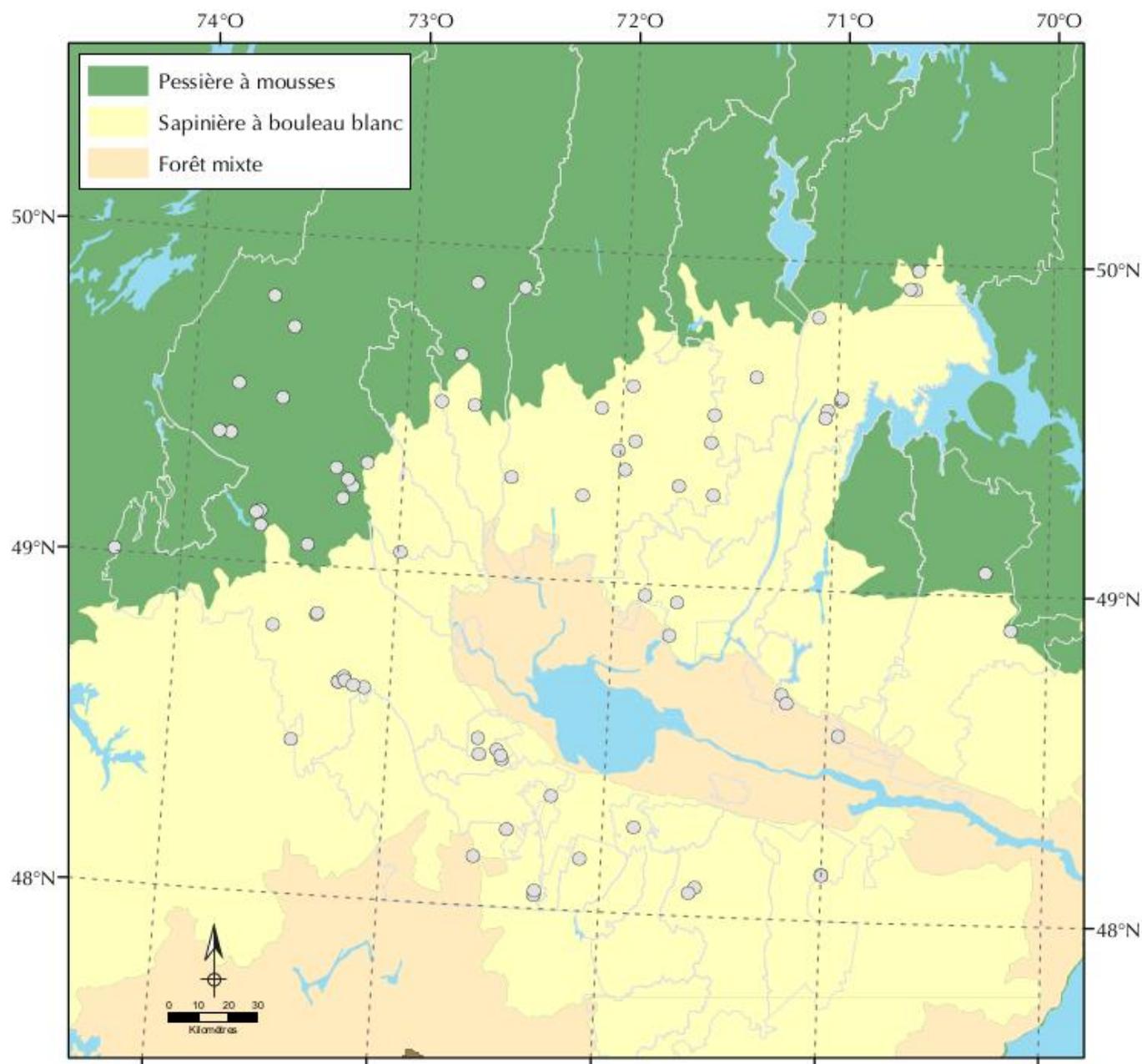


Figure 2 - Localisation des 76 plantations de pin gris à l'étude dans les domaines bioclimatiques de la pessière (vert sombre) et de la sapinière (jaune clair) dans la région du Saguenay – Lac-Saint-Jean

Protocole d'échantillonnage

Les informations suivantes relatives à la localisation, l'implantation et la caractérisation des parcelles ont été notées dans chaque plantation par des équipes formées à cet effet. L'homogénéité des relevés a été validée par la suite pour s'assurer d'obtenir un ensemble représentatif des données. Le protocole d'inventaire des placettes contenait les éléments suivants (figure 3) :

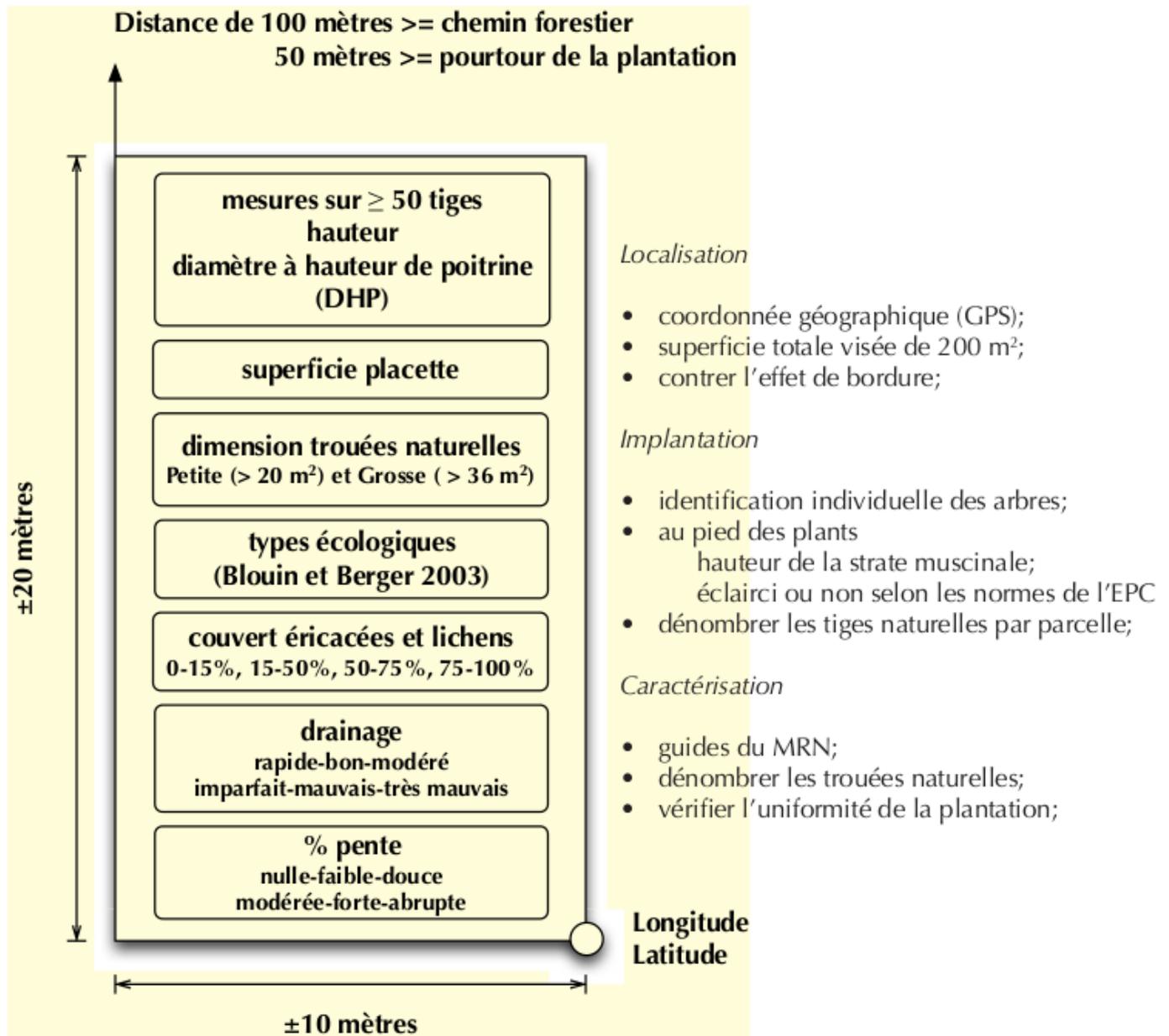


Figure 3 - Protocole d'échantillonnage dans les parcelles à l'étude

Les informations recueillies dans les plantations d'épinette noire et de pin gris ont été par la suite compilées dans une base de données aux fins des différentes analyses statistiques.

Estimation du volume

Dans le cadre du présent document, deux approches ont été explorées. L'obtention des valeurs de volume (m^3/ha) lors de la prise de données est basée sur la méthode préconisée par l'étude de Forslund et Paterson en 1994. Elle fait appel à une méthode d'estimation non destructive du volume total avec écorce des tiges qui inclut toutes celles plantées dans la parcelle délimitée.

La seconde approche considère l'indice de qualité de station (IQS) pour établir une prédiction du volume marchand (m^3/ha) dans le temps. Elle fait appel aux modèles développés par des chercheurs du ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec qui se basent sur un nombre restreint d'arbres dominants dans une parcelle donnée. Il s'agit des travaux de Prégent *et al.* (1996) pour l'épinette noire et de Bolghari et Bertrand (1984) pour le pin gris.

Calcul du volume sur pied des peuplements lors de la prise de données

La méthode de calcul de Forslund et Paterson (1994) est la plus précise parmi celles qui ne requiert aucun prélèvement d'arbre. Elle se base sur un modèle issu d'une fonction de puissance du profil de la tige qui intègre les mesures de DHP et de hauteur.

Épinette noire

$$[1] \text{ Parabolöide}_{\text{épinette noire}} : V_{\text{DHP}} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1.3}{H}\right)^{(-1)} \pi \left(\frac{\text{DHP}^2}{4}\right) HC$$

Pin gris

$$[2] \text{ Cône}_{\text{pin gris}} : V_{\text{DHP}} = \frac{1}{3} \left(1 - \frac{1.3}{H}\right)^{(-2)} \pi \left(\frac{\text{DHP}^2}{4}\right) HC$$

où

- V_{DHP} : volume de la tige en décimètres cube (dm^3)
- H : hauteur de la tige en mètres (m)
- DHP : diamètre à hauteur de poitrine en centimètres (cm)
- C : facteur de correction égal à 0.10
(puisque DHP est en cm, H en m et V_{DHP} en dm^3)

Cette méthode a été préalablement testée en forêt boréale dans la région du Saguenay – Lac-Saint-Jean. Les résultats de cette étude révèlent qu'elle sous-estime le volume cumulé de 6.0 % dans le cas de l'épinette noire et de 10.5 % dans le cas du pin gris (Krause *et al.* 2009).

Calcul prédictif du volume marchand

Selon les modèles définis par Prégent *et al.* (1996) et Bolghari et Bertrand (1984), les calculs utilisent l'indice de qualité de station (IQS) qui se base sur la relation âge-hauteur dominante. L'âge total des plants dans cette étude représente le cumul depuis la croissance en pépinière jusqu'au moment de la mesure. Lorsque la période de développement des plants en pépinière était inconnue, pour des parcelles données, une valeur de 2 ans leur a été attribuée, autant pour l'épinette noire que le pin gris.

Épinette noire

Dans le cas de l'épinette noire, le calcul prédictif du volume marchand équivaut à mesurer la hauteur dominante des 200 plus hautes tiges à l'hectare. Autrement dit, il s'agit des 8 arbres les plus hauts dans une parcelle de 400 m². Une règle de trois a été appliquée pour ajuster le nombre d'arbres selon la dimension de la parcelle. Les calculs de l'IQS [3], de la surface terrière totale [4] et marchande [5] ainsi que le volume total [6] et marchand [7] par hectare ont été produits d'après les modèles suivants :

$$[3] \text{ IQS} = \frac{H_{do}}{0.003613279 \left(\hat{\text{Âge}}^{1.904730104} \right) 0.980710034^{\hat{\text{Âge}}}}$$

où

IQS : Indice de qualité de station prédit (m), âge de référence à 25 ans;

H_{do} : Hauteur dominante (m);

$\hat{\text{Âge}}$: Âge total (années en pépinière et en plantation);

$$[4] \text{ Gt} = \left[-0.186304 + (0.866568Hd) - (0.025474Hd^2) - (0.483665ESP) \right]^2 - 1$$

$$[5] \text{ Gm} = -5.08195 + (1.09541Gt)$$

$$[6] \text{ Vt} = \left[-0.696772 + (0.319922Gt) + (0.464719Hd) - (0.010687Gt(Hd)) + (0.274384ESP) \right]^2$$

$$[7] \text{ Vm} = \left[-55.651588 + (0.851779Gt) - (0.008986Hd) + (0.248131Gt(Hd)) + (20.775526ESP) \right]$$

où

Gt : Surface terrière totale prédite (m²/ha);

Gm : Surface terrière marchande prédite (m²/ha);

Vt : Volume total prédit (m³/ha);

Vm : Volume marchand prédit (m³/ha);

Hd : Hauteur dominante (m);

ESP : Espacement initial moyen entre les plants (m);

Les calculs du volume marchand chez l'épinette noire s'étendent jusqu'à 35 ans. L'extrapolation entre 35 et 60 ans est réalisée avec l'accroissement annuel moyen maintenu constant à partir de l'âge auquel l'accroissement atteint une valeur maximale (Prégent *et al.* 1996; Prégent et Poliquin 2006).

Pin gris

Les 12 plus hautes tiges à l'hectare ont été utilisées dans le calcul de l'IQS chez le pin gris. Les calculs de l'IQS [8], de la surface terrière totale [9] et marchande [10] ainsi que le volume total [11] et marchand [12] par hectare ont été produits d'après les modèles suivants :

$$[8] \text{ IQS} = \text{Hr} \left[\frac{\text{H}_{ob} + \left(\frac{\text{CVe}}{\text{CVr}} \right) \text{He} - \text{He}}{\left(\frac{\text{CVe}}{\text{CVr}} \right) \text{He}} \right]$$

où

- IQS : Indice de qualité de station à un âge de référence de 15 ans;
- Hr : Hauteur dominante (m) à l'âge de référence;
- H_{ob} : Hauteur dominante observée (m);
- CVe : Coefficient de variation de la hauteur dominante en fonction de l'âge;
- He : Hauteur dominante à un âge donné;
- CVr : Coefficient de variation de la hauteur dominante à l'âge de référence

$$[9] \text{ Gt} = -16.586 + 1.2264A + 2.8767\text{IQS} - 4.0034\sqrt{\text{ESP}}$$

$$[10] \text{ Gm} = -4.49 + 1.089\text{Gt}$$

$$[11] \text{ Vt} = -1.301 + 2.873\text{Gt} + 0.148\text{GtH}$$

$$[12] \text{ Vm} = -18.847 + \frac{90.092}{\text{Vt}} + 0.919\text{Vt}$$

où

- Gt : Surface terrière totale (m²/ha);
- A : Âge total (années en pépinière et en plantation);
- ESP : Espacement initial moyen entre les plants (m²);
- Gm : Surface terrière des arbres marchands (DHP > 9) (m²/ha);
- Vt : Volume total (m³/ha);
- Vm : Volume marchand (m³/ha);

En ce qui a trait au pin gris, le volume marchand couvre une période de 40 ans. Il n'existe pas actuellement de modèle recommandé pour prédire le rendement au-delà de cette période.

Les estimations de volume pour chacune des deux espèces ont été également examinées, selon l'accroissement annuel moyen en divisant respectivement, pour l'épinette noire, le volume extrapolé à 60 ans par 60 et pour le pin gris, le volume marchand à 40 ans par 40. Les calculs sont identifiés par l'acronyme (Acc_an) dans les tableaux des résultats à cet effet. Ces valeurs se basent sur la terminologie employée par le travail de Prégent *et al.* (2010). Les tableaux présentent aussi une répartition du volume marchand des meilleures parcelles (le tiers supérieur (33 %) et les deux tiers supérieurs (66 %)). Les plantations ont été triées par ordre décroissant de valeur d'IQS pour obtenir ces valeurs.

Tests de puissance

Les tests de puissance sur une moyenne sont utilisés pour définir si une moyenne est différente d'une valeur cible. Énoncé autrement, le test vise à déterminer le nombre d'échantillons nécessaire pour connaître une moyenne avec plus ou moins une erreur X dans un intervalle de confiance Y . Le logiciel JMP (version 11) (SAS 2013) a été utilisé pour déterminer l'échantillonnage requis pour estimer adéquatement une moyenne donnée.

Dans cette recherche, la valeur cible à détecter a été établie à \pm une unité d'IQS. Pour effectuer l'analyse, l'écart-type estimé de la population est la seule donnée à entrer dans le logiciel qui calcule alors la différence à détecter, la taille de l'échantillon et la puissance du test à une probabilité alpha déterminée de 0.05. Un exemple des courbes issues des tests de puissance est présenté à la figure 4. Les résultats sont insérés à l'annexe 1.

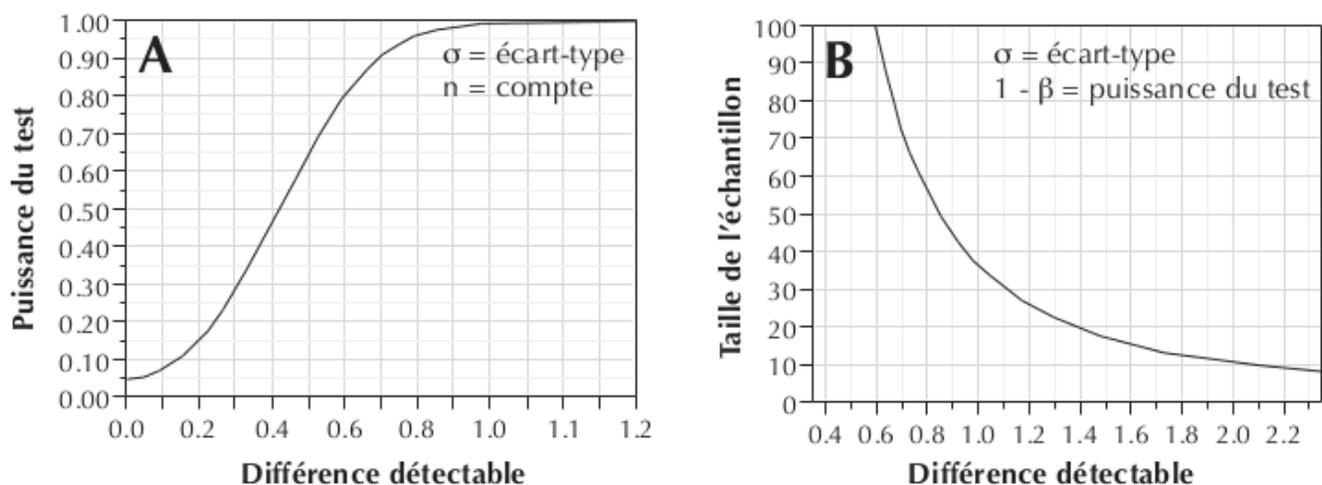


Figure 4 - A. Puissance du test selon la différence détectable d'IQS dans une population donnée; B. Taille de l'échantillon en fonction de la différence détectable à 95 %.

Analyses statistiques

Des analyses de variance à deux facteurs ont été utilisées pour examiner les différences d'indice de qualité de station (IQS) chez les deux espèces séparément. Le premier facteur « type écologique » correspondait aux catégories MS, RS2 et RE2. Le second facteur était soit le domaine bioclimatique de la sapinière et de la pessière, soit les regroupements d'UA au Lac-Saint-Jean (LSJ_p : pessière; LSJ_s : sapinière) et au Saguenay (SAG_s : sapinière). Trois modèles ont été utilisés pour couvrir les différentes combinaisons avec les types écologiques : un pour les domaines bioclimatiques, un second pour le Lac-Saint-Jean et un dernier pour le Lac-Saint-Jean et le Saguenay combiné. Les résultats sont présentés à l'annexe 2. Un nombre de 8 parcelles (5 épinettes et 3 pins) a été exclus des analyses des UA visées dans le projet, étant localisées à l'extérieur des contours forestiers. Elles ont été toutefois considérées pour les domaines bioclimatiques.

L'hétéroscédasticité des données a été vérifiée à partir de la dispersion des valeurs résiduelles. Des graphiques de quantiles normaux ont permis de valider la normalité des résidus. Les comparaisons de moyennes ont été faites à partir du test HSD de Tukey. Les analyses statistiques ont été réalisées sur le logiciel JMP (SAS 2013) avec un seuil alpha de 0.05.

Résultats

Les données sont présentées par espèce individuellement en suivant l'ordre de présentation suivant :

1. Statistiques descriptives

- A. Territoire d'étude
- B. Territoire d'étude subdivisé selon les deux domaines bioclimatiques

2. Calcul du volume sur pied

- A. Territoire d'étude
- B. Territoire d'étude subdivisé selon les deux domaines bioclimatiques

3. Calcul prédictif du volume marchand

- A. Territoire d'étude
- B. Territoire d'étude subdivisé selon les deux domaines bioclimatiques
- C. Territoire d'étude selon les types écologiques
- D. Territoire d'étude selon les regroupements d'UA
- E. Territoire d'étude selon les regroupements d'UA et les types écologiques

4. Tests de puissance

- A. Territoire d'étude
- B. Territoire d'étude subdivisé selon les deux domaines bioclimatiques
- C. Territoire d'étude selon les regroupements d'UA

ÉPINETTE NOIRE

1. Statistiques descriptives

La délimitation d'une parcelle d'étude à l'intérieur de chaque plantation, combinée au dénombrement des tiges plantées et naturelles, a permis de dresser un portrait de la distribution à l'hectare (ha) de la dimension et de la densité des parcelles de tous les sites.

A. Territoire d'étude

Les proportions les plus élevées des parcelles (45 %) se retrouvent dans la classe 0.015 à 0.020 ha (figure 5).

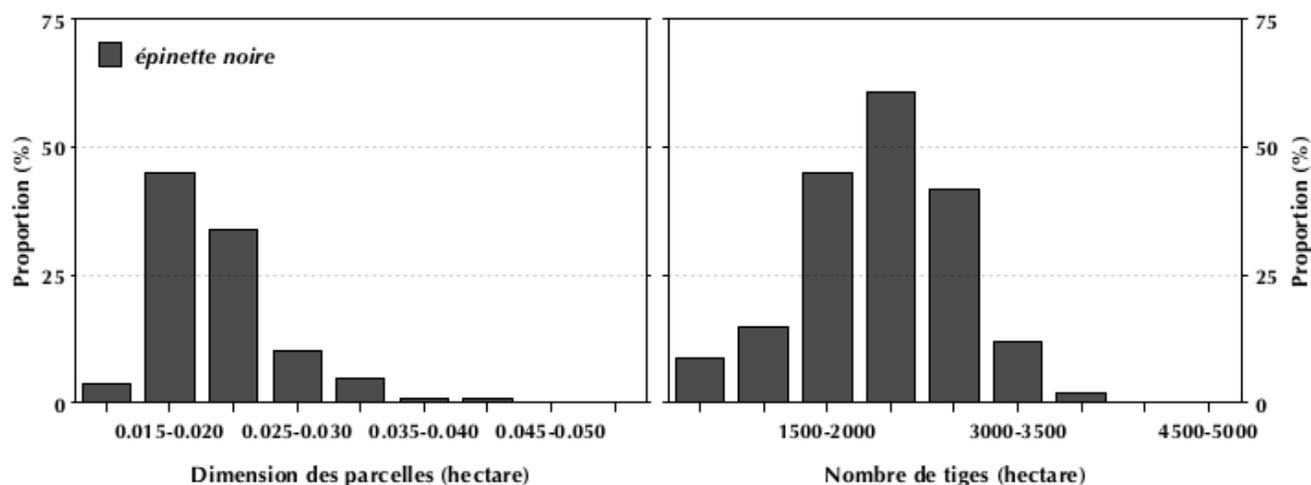


Figure 5 - Histogrammes de la dimension des parcelles et du nombre de tiges (hectare) chez les 186 plantations d'épinette noire

Les plantations d'épinette noire se retrouvent dans plus de 32 % des cas dans la classe 2000 à 2500 tiges à l'hectare. La variation dans la dimension des parcelles s'explique en grande partie par le critère d'inclure un minimum de 50 tiges plantées par placette.

B. Territoire d'étude selon les domaines bioclimatiques

La dimension des parcelles n'est pas significativement différente (test de T) entre la sapinière (0.022 ha) et la pessière (0.021 ha) chez l'épinette noire (figure 6). Il y a cependant des écarts significatifs ($p = 0.0344$) qui ont été enregistrés dans le nombre de tiges à l'hectare entre les domaines bioclimatiques (pessière (2357) > sapinière (2114)).

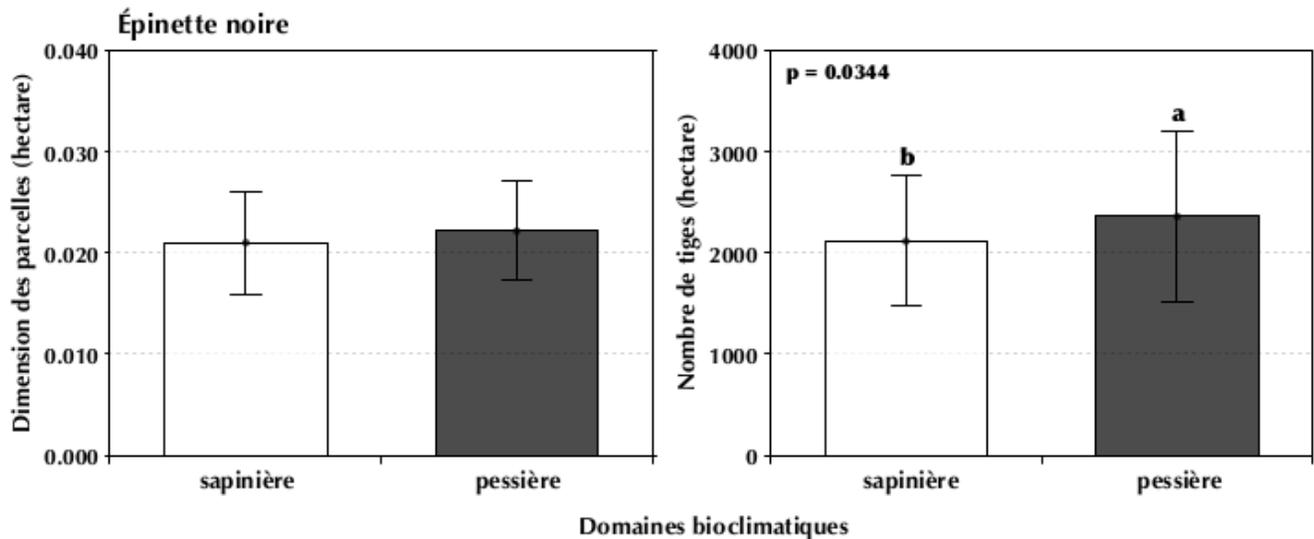


Figure 6 - Histogrammes de la dimension des parcelles et du nombre de tiges (hectare) chez les 186 plantations d'épinette noire selon les domaines bioclimatiques. Les différences significatives sont illustrées par les lettres a et b.

2. Calcul du volume du peuplement sur pied lors de la prise de données

A. Territoire d'étude

La moyenne d'âge des parcelles est de 23.5 ans (25.3 avec pépinière). La plus jeune plantation est âgée de 19 ans et la plus vieille de 34 ans. Le nombre moyen de tiges plantées par parcelle est égal à 44.9 ($8 \leq x \leq 131$). En moyenne, la hauteur a atteint 4.6 m ($1.7 \leq x \leq 9.0$) et le DHP 5.4 cm ($1.1 \leq x \leq 12.9$). Le décompte moyen des tiges naturelles équivaut à 50.7 arbres par parcelle. Ce nombre élevé est attribuable à 21 plantations avec plus de 100 tiges naturelles. Les valeurs minimales et maximales de volume, d'après Forslund et Paterson (1994), correspondent à 1.0 et 142.1 m³/ha dans les plantations âgées respectivement de 21 et 27 ans (tableau 2).

Tableau 2 - Statistiques descriptives et calculs du volume sur pied dans les 186 plantations d'épinette noire

Site	Unités gestion	Domaine bioclimatique	Longitude	Latitude	Plantation		DHP (cm)	hauteur (m)	Parcelle		Forslund m ³ /ha
					date	âge ¹			n	ha	
2109	21	sapinière	71.88	48.19	1989	27.0	11.97	7.82	44	0.017	142.10
25013E	25	sapinière	72.71	49.16	1987	26.0	11.60	8.55	50	0.025	135.46
2117	21	sapinière	71.46	48.22	1983	34.0	9.93	9.03	56	0.019	127.78
2136	21	sapinière	71.12	48.71	1988	28.0	11.16	8.96	42	0.019	117.16
2113	21	sapinière	71.83	48.24	1986	29.0	11.76	7.99	41	0.020	115.78
2110	21	sapinière	71.83	48.23	1987	29.0	12.81	8.51	35	0.021	114.33
2145	21	sapinière	71.88	48.19	1989	27.0	12.89	8.22	32	0.019	113.47
21081E	21	sapinière	71.39	48.23	1985	29.0	11.02	8.15	53	0.025	106.49
25317	25	sapinière	72.81	48.98	1992	23.0	8.89	6.63	50	0.014	103.38
2120	21	sapinière	71.59	48.07	1990	26.0	10.06	7.52	44	0.018	102.48
24309	24	sapinière	71.23	49.78	1989	26.0	10.72	8.21	42	0.020	99.03
2125	21	sapinière	70.70	48.73	1987	29.0	10.59	6.82	41	0.019	89.36
2133	21	sapinière	71.10	48.80	1987	29.0	9.66	7.10	45	0.019	87.28
2115	21	sapinière	71.39	48.23	1985	32.0	8.96	7.83	53	0.021	85.85
2107	21	sapinière	71.64	48.12	1988	28.0	10.13	7.65	45	0.022	85.42
2111	21	sapinière	71.59	48.08	1986	29.0	10.35	7.14	45	0.021	85.26
22278	22	sapinière	72.10	48.22	1990	24.0	8.80	6.74	54	0.019	81.39
2135	21	sapinière	70.57	48.87	1988	27.0	9.05	6.67	49	0.018	80.92
25503	25	sapinière	73.13	48.64	1986	30.0	8.82	6.95	44	0.015	79.34
2121	21	sapinière	71.61	48.04	1990	26.0	8.94	6.92	53	0.021	77.05
2123	21	sapinière	70.47	48.93	1983	34.0	8.52	7.50	49	0.018	75.76
2116	21	sapinière	71.02	48.28	1983	34.0	9.44	7.89	41	0.019	75.63
2141	21	sapinière	71.56	48.11	1986	30.0	9.70	7.44	41	0.021	72.66
25107E	25	sapinière	72.23	48.43	1990	23.0	9.39	6.68	54	0.024	71.92
27508	27	sapinière	72.02	49.41	1987	29.0	8.31	7.44	43	0.016	71.52
2140	21	sapinière	71.61	48.07	1986	30.0	10.49	7.36	33	0.019	69.83
23073E	23	sapinière	71.05	48.93	1987	24.5	8.07	6.38	51	0.019	69.47
27505	27	sapinière	71.96	49.52	1987	29.0	8.84	7.17	40	0.017	67.25
22275A	22	sapinière	72.21	48.07	1987	27.0	10.91	8.60	32	0.024	66.70
27507	27	sapinière	71.97	49.50	1987	29.0	8.87	7.06	33	0.014	66.20
2127	21	sapinière	70.54	48.90	1986	30.0	9.40	6.75	42	0.022	62.76
2132	21	sapinière	70.65	48.68	1987	30.0	8.62	5.55	52	0.019	62.57
23PLE01	23	sapinière	70.56	48.88	1986	26.0	8.86	5.61	45	0.016	60.88
25319	25	sapinière	72.82	48.99	1993	22.0	9.07	6.52	44	0.021	60.81
2104	21	sapinière	71.45	48.00	1989	27.0	8.75	5.91	42	0.021	56.91

¹ âge total (pépinière + plantation);

Tableau 2 (suite) - Statistiques descriptives et calculs du volume sur pied dans les 186 plantations d'épinette noire

Site	Unités gestion	Domaine bioclimatique	Longitude	Latitude	Plantation		DHP (cm)	hauteur (m)	Parcelle		Forslund m ³ /ha
					date	âge ¹			n	ha	
23072E	23	sapinière	71.09	48.79	1987	24.5	7.55	5.93	49	0.017	55.34
2128	21	sapinière	70.46	48.92	1985	32.0	7.65	6.59	48	0.018	55.14
25404	25	sapinière	73.18	49.28	1989	26.0	7.54	5.24	53	0.016	54.01
21078E	21	sapinière	71.64	48.12	1988	24.0	7.91	6.14	55	0.023	53.24
23PLE04	23	sapinière	71.10	48.81	1991	21.0	8.27	5.80	47	0.020	52.34
23068E	23	sapinière	70.57	48.85	1988	24.0	8.01	5.74	56	0.020	51.04
2134	21	sapinière	70.66	48.73	1988	27.0	9.54	5.97	33	0.020	50.38
2126	21	sapinière	70.56	48.89	1986	30.0	9.46	6.32	31	0.019	49.36
21071E	21	sapinière	71.07	48.76	1989	24.0	8.33	5.93	51	0.026	47.75
25401	25	pessièr	73.19	49.28	1989	26.0	7.98	5.82	45	0.020	47.50
2131	21	sapinière	70.70	48.73	1987	30.0	9.97	6.31	27	0.019	47.35
21084E	21	sapinière	71.12	48.16	1989	24.0	7.67	5.80	50	0.023	42.66
27502	27	sapinière	72.01	49.47	1990	26.0	6.22	5.31	47	0.014	41.61
25526	25	sapinière	72.66	49.16	1987	29.0	9.38	7.58	17	0.015	41.58
27011E	27	sapinière	71.70	49.45	1986	26.0	6.52	5.74	50	0.015	40.10
23067E	23	sapinière	70.55	48.93	1985	29.0	6.88	5.30	50	0.022	38.54
25408	25	sapinière	72.52	49.37	1986	29.0	7.45	6.01	32	0.019	38.00
22277	22	sapinière	71.97	48.16	1989	25.0	11.54	7.60	17	0.023	37.43
23069E	23	sapinière	70.68	48.67	1988	24.0	6.89	4.84	50	0.019	34.66
27005E	27	sapinière	72.06	49.40	1987	25.0	5.53	5.47	51	0.018	33.45
25029E	25	sapinière	73.59	49.11	1989	23.0	6.53	5.53	52	0.033	33.33
25523	25	sapinière	73.01	49.11	1988	28.0	7.09	5.69	34	0.018	33.11
23065E	23	pessièr	70.28	49.07	1991	22.0	5.64	4.56	55	0.018	33.03
2124	21	sapinière	70.55	48.93	1985	31.0	6.38	5.42	49	0.020	32.35
25500	25	sapinière	73.13	48.65	1986	30.0	7.26	5.76	31	0.016	31.95
25337	25	sapinière	72.39	49.41	1988	27.0	7.13	5.90	39	0.025	29.39
25330	25	sapinière	72.38	49.41	1988	27.0	6.76	5.37	46	0.024	27.77
25415	25	sapinière	73.26	49.04	1986	29.0	6.10	5.10	42	0.019	27.38
24304_D	24	pessièr	70.77	49.99	1990	25.0	5.74	5.13	55	0.021	26.51
25335	25	pessièr	73.36	49.06	1987	28.0	7.09	5.93	28	0.023	24.88
21259_D	21	pessièr	70.44	49.10	1995	19.0	6.15	4.65	50	0.025	24.73
25540	25	sapinière	73.13	48.65	1986	30.0	9.63	7.68	8	0.013	23.45
27510	27	sapinière	72.02	49.42	1987	29.0	7.52	8.28	13	0.016	22.64
27004E	27	sapinière	71.74	49.43	1988	24.0	5.21	4.13	51	0.020	22.42
25403	25	pessièr	73.19	49.20	1988	27.0	5.99	4.64	20	0.026	22.21

¹ âge total (pépinier + plantation);

Tableau 2 (suite) - Statistiques descriptives et calculs du volume sur pied dans les 186 plantations d'épinette noire

Site	Unités gestion	Domaine bioclimatique	Longitude	Latitude	Plantation		DHP (cm)	hauteur (m)	Parcelle		Forslund m ³ /ha
					date	âge ¹			n	ha	
22271_D	22	sapinière	73.07	48.60	1982	32.0	7.35	6.86	27	0.024	22.14
25416	25	sapinière	73.12	48.57	1988	27.0	4.74	4.47	51	0.016	22.09
25108E	25	sapinière	73.07	48.51	1989	23.0	5.66	4.57	48	0.028	21.92
27003E	27	sapinière	72.17	49.47	1987	26.0	5.30	4.99	51	0.015	21.50
24008E	24	sapinière	71.21	49.70	1986	25.5	3.53	3.57	49	0.017	21.37
23061E	23	pessière	70.11	48.88	1989	24.0	5.51	4.60	45	0.020	20.40
27008E	27	sapinière	71.72	49.51	1988	25.0	5.60	4.88	52	0.033	20.27
27511	27	sapinière	72.01	49.43	1987	29.0	6.37	6.69	23	0.020	19.92
25320	25	sapinière	72.66	49.16	1988	27.0	4.79	4.67	33	0.016	19.37
25527	25	sapinière	72.67	49.16	1988	28.0	6.00	5.20	24	0.015	19.35
27006E	27	sapinière	71.84	49.22	1988	25.0	5.12	4.46	53	0.027	18.97
24012E	24	pessière	71.08	50.16	1990	23.0	4.11	3.84	49	0.012	18.18
25405	25	pessière	73.18	49.25	1989	26.0	5.09	4.29	50	0.019	18.07
24003E	24	sapinière	71.45	49.85	1991	22.0	3.69	3.32	51	0.018	17.85
25015E	25	sapinière	73.09	48.57	1986	26.0	4.74	3.95	48	0.018	17.69
27338	27	sapinière	71.97	49.48	1990	23.5	4.76	4.27	54	0.022	17.50
27347	27	pessière	72.05	49.97	1991	24.0	4.52	4.10	58	0.018	17.35
22276A	22	sapinière	72.16	48.10	1993	21.0	6.05	4.78	39	0.027	17.15
25331	25	pessière	73.25	49.21	1988	27.0	4.58	4.22	44	0.018	17.15
2138	21	sapinière	71.08	49.11	1989	26.0	4.60	3.94	43	0.017	16.10
25327	25	sapinière	72.38	49.53	1990	25.0	4.61	3.99	44	0.017	14.96
25413	25	sapinière	72.38	49.41	1988	27.0	4.82	4.22	37	0.018	13.91
25407	25	sapinière	72.52	49.38	1986	29.0	5.74	5.19	16	0.020	13.78
25004E	25	pessière	72.63	49.84	1990	22.0	4.02	3.61	50	0.019	13.66
25001E	25	pessière	72.59	50.02	1990	21.5	4.50	3.76	48	0.020	13.61
25546	25	sapinière	73.43	48.47	1986	30.0	3.92	4.06	45	0.016	13.47
27010E	27	sapinière	72.13	49.46	1990	22.0	3.95	3.70	50	0.022	13.11
25BrackeM	25	pessière	73.98	49.96	1987	24.0	5.86	4.46	40	0.020	12.84
25402	25	pessière	73.19	49.20	1988	27.0	5.07	4.26	30	0.019	12.83
27009E	27	sapinière	72.46	49.39	1990	23.0	3.75	3.58	50	0.015	12.65
25521	25	sapinière	72.82	48.98	1992	24.0	4.64	4.38	24	0.015	12.07
25332	25	pessière	73.25	49.22	1989	26.0	4.39	3.98	48	0.022	12.02
25412	25	sapinière	72.48	49.36	1988	27.0	5.07	4.26	32	0.019	11.97
24015E	24	sapinière	70.65	49.93	1991	22.0	3.89	3.38	56	0.020	11.82
23PLE03	23	sapinière	71.08	49.10	1989	22.0	4.93	4.04	50	0.032	11.74

¹ âge total (pépinère + plantation);

Tableau 2 (suite) - Statistiques descriptives et calculs du volume sur pied dans les 186 plantations d'épinette noire

Site	Unités gestion	Domaine bioclimatique	Longitude	Latitude	Plantation		DHP (cm)	hauteur (m)	Parcelle		Forslund m ³ /ha
					date	âge ¹			n	ha	
24210A_D	24	pessière	71.20	49.93	1987	27.0	4.26	3.73	51	0.025	11.62
25328	25	sapinière	72.43	49.47	1991	24.0	3.95	3.66	45	0.020	11.54
22274A	22	sapinière	72.34	48.18	1993	21.0	5.75	5.20	25	0.026	11.37
27339	27	sapinière	71.96	49.49	1990	25.0	3.88	3.64	47	0.018	11.34
25501	25	sapinière	73.23	48.66	1986	30.0	3.80	3.45	49	0.020	10.72
27002E	27	sapinière	72.16	49.45	1990	22.0	4.42	4.07	50	0.030	10.71
25409	25	sapinière	72.51	49.37	1986	29.0	4.06	3.66	25	0.017	10.64
22269	22	sapinière	73.03	48.54	1985	29.0	3.19	3.09	37	0.013	10.55
27341	27	sapinière	71.81	49.28	1988	26.5	3.60	3.42	44	0.018	10.33
22272A	22	sapinière	72.44	48.38	1992	22.0	6.13	4.93	23	0.026	10.32
23066E	23	sapinière	70.27	48.89	1992	21.0	3.59	3.41	51	0.020	9.69
25228_D	25	pessière	73.85	49.37	1993	21.0	3.81	3.42	50	0.019	9.65
24001E	24	sapinière	71.39	49.49	1991	22.0	4.21	3.88	51	0.027	9.00
27223_D	27	pessière	72.02	49.91	1991	23.0	3.65	3.24	49	0.020	8.68
24302	24	pessière	71.11	50.17	1991	24.0	3.13	3.04	57	0.017	8.64
22289	22	sapinière	72.73	48.14	1995	19.0	3.59	3.49	44	0.021	8.54
2139	21	sapinière	71.07	49.07	1989	26.0	3.99	3.85	28	0.018	8.49
24002E	24	sapinière	71.44	49.82	1990	23.0	3.23	3.17	46	0.018	8.36
24210	24	pessière	71.24	49.92	1987	27.0	3.47	3.28	46	0.019	8.26
22290	22	sapinière	72.36	48.11	1995	19.0	3.52	3.47	50	0.026	7.81
25230A	25	pessière	73.62	49.82	1993	21.0	4.23	3.65	36	0.021	7.80
25008E	25	pessière	72.66	49.68	1988	25.0	3.41	3.36	47	0.022	7.72
24013E	24	pessière	71.10	50.12	1991	21.0	3.07	3.04	49	0.016	7.63
27351	27	pessière	71.88	49.82	1993	22.0	3.07	3.13	36	0.014	7.32
25227	25	pessière	73.80	49.54	1993	21.0	3.49	3.13	49	0.024	7.21
25012E	25	sapinière	72.75	49.60	1988	24.0	3.73	3.21	46	0.021	6.84
27512	27	sapinière	72.02	49.41	1987	29.0	3.99	3.69	23	0.018	6.83
24261	24	pessière	71.47	49.88	1994	20.0	3.69	2.93	45	0.018	6.73
25028E	25	sapinière	73.53	48.88	1985	27.0	3.36	3.13	48	0.024	6.48
24315_D	24	pessière	71.09	50.15	1991	24.0	3.47	3.22	32	0.018	6.29
25333	25	pessière	73.24	49.28	1989	26.0	3.42	3.34	51	0.029	6.09
25334	25	pessière	73.24	49.27	1989	26.0	3.23	3.07	48	0.025	5.90
25023E	25	sapinière	73.37	48.94	1990	21.5	2.76	2.62	49	0.017	5.72
21206	21	pessière	70.79	49.47	1993	21.0	2.89	3.01	49	0.034	5.71
24009E	24	sapinière	71.02	49.56	1988	24.5	2.45	2.66	48	0.015	5.69

¹ âge total (pépinière + plantation);

Tableau 2 (suite) - Statistiques descriptives et calculs du volume sur pied dans les 186 plantations d'épinette noire

Site	Unités gestion	Domaine bioclimatique	Longitude	Latitude	Plantation		DHP (cm)	hauteur (m)	Parcelle		Forslund m ³ /ha
					date	âge ¹			n	ha	
27007E	27	sapinière	71.80	49.26	1988	25.0	3.14	2.96	50	0.028	5.57
25PLE05	25	sapinière	72.69	49.51	1988	24.0	3.04	3.09	50	0.022	5.53
25016E	25	sapinière	73.16	48.57	1989	24.0	3.69	3.23	50	0.032	5.44
24300_D	24	pessière	71.10	50.16	1991	24.0	3.52	3.20	50	0.038	5.43
25406	25	sapinière	73.14	49.25	1989	26.0	3.44	3.15	54	0.032	5.42
27343	27	sapinière	71.79	49.26	1990	25.0	2.84	2.87	44	0.021	5.08
24316_D	24	pessière	71.08	50.17	1990	25.0	2.42	2.45	34	0.015	4.80
24213	24	pessière	70.75	49.97	1989	25.0	2.51	2.68	34	0.015	4.58
23058E	23	pessière	70.05	48.99	1991	22.0	2.27	2.48	42	0.014	4.50
27348	27	pessière	71.85	49.82	1993	22.0	2.14	2.40	36	0.018	4.49
25532	25	sapinière	73.56	48.75	1989	27.0	2.83	2.90	30	0.016	4.46
25005E	25	pessière	72.62	49.83	1990	22.0	2.50	2.67	44	0.024	4.38
24007E	24	sapinière	71.23	49.70	1987	25.0	2.17	2.50	42	0.017	4.35
27268	27	pessière	72.06	50.02	1993	21.0	2.72	2.74	49	0.022	4.27
25003E	25	pessière	72.66	49.91	1990	22.0	2.79	2.80	51	0.024	4.27
27509	27	sapinière	72.01	49.43	1987	29.0	2.86	3.16	27	0.016	4.20
24010E	24	sapinière	70.98	49.59	1992	20.0	2.40	2.59	40	0.020	4.20
22273A_D	22	sapinière	72.28	48.37	1993	21.0	3.30	3.36	31	0.024	4.14
25400	25	sapinière	73.21	49.05	1987	28.0	2.48	2.61	44	0.027	4.09
24004E	24	pessière	71.09	49.94	1989	24.0	2.21	2.60	37	0.017	3.84
2490	24	pessière	71.08	50.17	1990	24.0	2.34	2.45	30	0.014	3.83
24PLE06	24	sapinière	71.38	49.63	1989	24.0	2.82	2.69	48	0.028	3.47
25233	25	pessière	72.99	49.64	1993	21.0	1.91	2.22	32	0.012	3.13
25414	25	sapinière	73.26	49.04	1986	29.0	2.24	2.52	29	0.016	2.86
24314_D	24	pessière	71.09	50.14	1991	24.0	1.69	2.05	34	0.012	2.83
27352	27	pessière	71.95	49.87	1993	22.0	1.86	2.22	41	0.016	2.80
24310_D	24	sapinière	71.26	49.78	1989	26.0	1.71	2.07	21	0.015	2.68
24014E	24	sapinière	70.67	49.96	1990	22.5	1.91	2.19	33	0.015	2.59
24260	24	sapinière	71.46	49.85	1994	20.0	1.90	2.21	26	0.011	2.48
24017E	24	sapinière	70.68	49.92	1989	24.0	1.80	2.19	27	0.013	2.48
27346	27	pessière	72.04	49.97	1993	22.0	1.70	2.16	26	0.011	2.30
25410	25	sapinière	72.48	49.39	1988	27.0	2.90	3.24	22	0.025	2.12
25TTSE	25	pessière	73.95	49.98	1987	24.0	3.45	3.17	34	0.019	2.11
24005E	24	pessière	71.10	49.94	1989	24.0	1.67	2.14	31	0.017	1.76
25234	25	pessière	72.75	49.66	1993	21.0	1.74	2.17	33	0.015	1.74

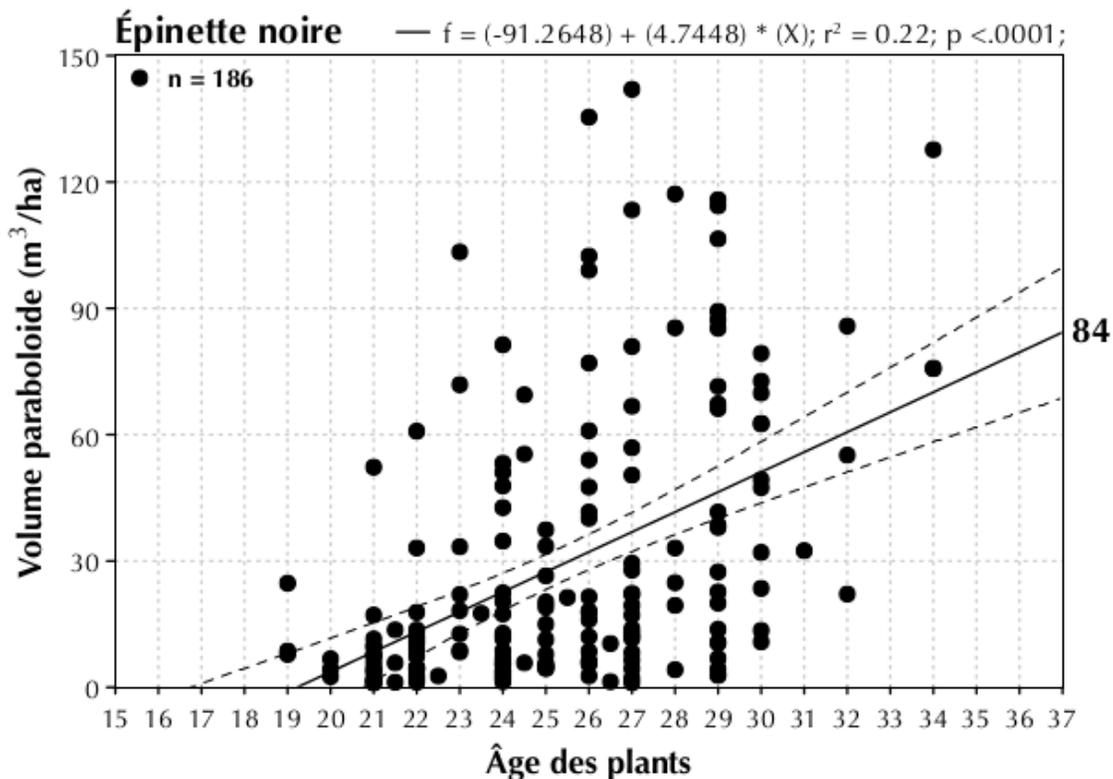
¹ âge total (pépinière + plantation);

Tableau 2 (suite) - Statistiques descriptives et calculs du volume sur pied dans les 186 plantations d'épinette noire

Site	Unités gestion	Domaine bioclimatique	Longitude	Latitude	Plantation		DHP (cm)	hauteur (m)	Parcelle		Forslund m ³ /ha
					date	âge ¹			n	ha	
24019E	24	sapinière	70.74	49.97	1991	21.0	1.21	1.76	16	0.005	1.51
27350	27	pessière	71.88	49.83	1993	22.0	1.41	1.91	14	0.006	1.50
27224	27	pessière	71.94	49.87	1993	21.0	1.61	2.11	25	0.015	1.39
24301_D	24	pessière	71.11	50.17	1991	24.0	1.10	1.69	33	0.013	1.34
27342	27	sapinière	71.82	49.29	1988	26.5	1.90	2.16	24	0.020	1.32
25009E	25	sapinière	72.67	49.33	1990	22.0	1.16	1.77	16	0.006	1.21
24214	24	pessière	71.15	50.11	1991	21.5	1.77	2.15	27	0.021	1.20
25533	25	sapinière	73.55	48.75	1989	27.0	2.47	2.72	10	0.020	1.05
25263	25	sapinière	72.69	49.59	1993	21.0	1.83	2.21	38	0.034	1.01
25225A	25	pessière	73.42	49.01	1993	21.0	1.28	1.87	12	0.006	0.98

¹ âge total (pépinière + plantation);

La disposition graphique des valeurs de volume sur pied de chaque parcelle (méthode du paraboloïde) en fonction de l'âge total des plants révèle une relation linéaire significative ($r^2 = 0.22$) lorsque l'on ajuste une droite de régression à travers la distribution des points sans discriminer les domaines écologiques (figure 7). Cet ajustement linéaire révèle que le volume total de l'épinette noire serait de l'ordre de 84 m³/ha à l'âge de 37 ans.

Figure 7 - Volume total sur pied (m³/ha) des 186 plantations d'épinette noire

B. Territoire d'étude selon les domaines bioclimatiques

On observe une différence marquée entre la sapinière et la pessière avec des projections de volume sur pied respectives de 84 et 28 m³/ha à l'âge de 37 ans (figures 8 et 9). Nous obtenons des coefficients de détermination (r²) de 0.16 dans la sapinière et de 0.11 dans la pessière.

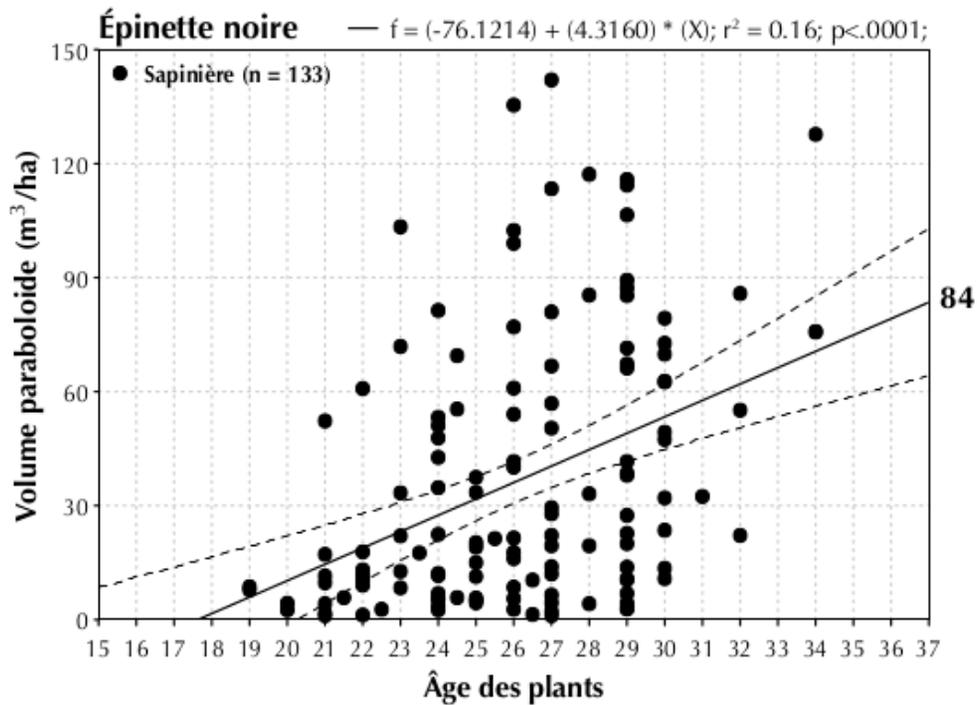


Figure 8 - Volume total sur pied (m³/ha) des 133 plantations d'épinette noire dans la sapinière

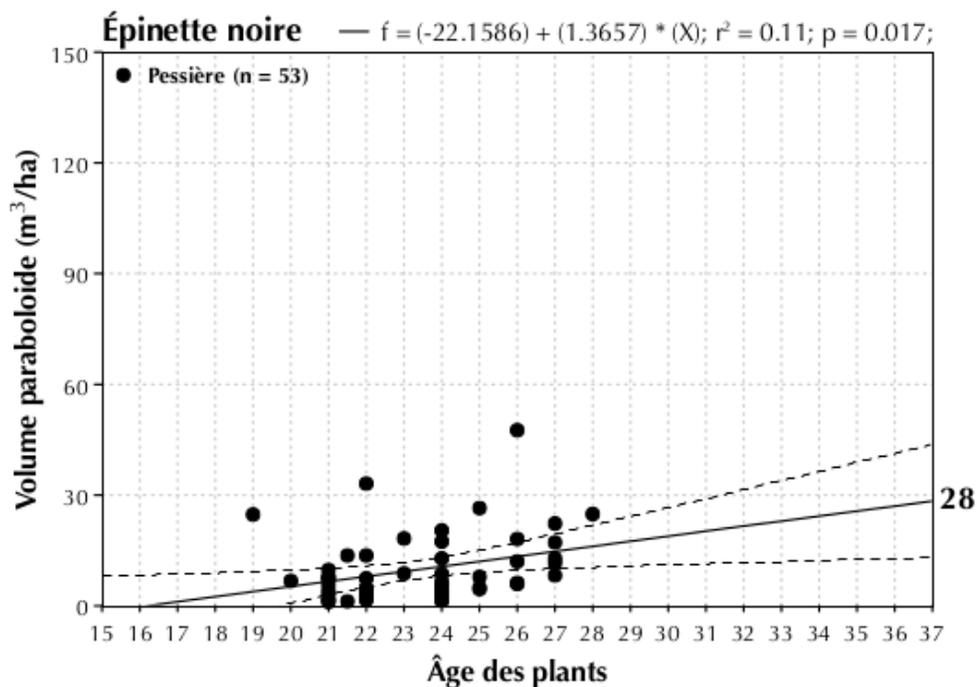


Figure 9 - Volume total sur pied (m³/ha) des 53 plantations d'épinette noire dans la pessière

3. Calcul prédictif du volume marchand

A. Territoire d'étude

Dans l'ensemble des plantations ($n = 186$), l'IQS à 25 ans, d'après Prégent *et al.* (1996), est égal à 6.11. Les valeurs d'indice de qualité de station varie des classes 2-3 à 10-11 (figure 10).

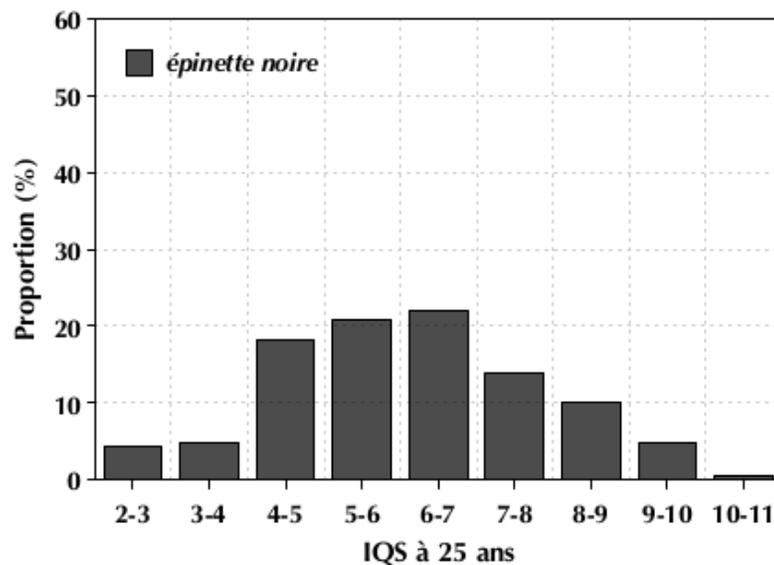


Figure 10 - Histogrammes (%) des classes d'IQS à 25 ans dans les parcelles d'épinette noire

Les proportions sont égales à 38 % chez les classes 4-5 et 5-6 et 33 % chez les 6-7 et 7-8. Plus de 20 % des plantations ont un IQS supérieur à 8.00. Le volume marchand extrapolé à 60 ans, pour les 186 plantations d'épinette noire, correspond à une valeur de 175 m³/ha (tableau 3 et figure 11). L'accroissement annuel moyen est égal à 2.9 m³/ha/an.

Tableau 3 - Valeurs moyennes d'IQS à 25 ans et valeurs de volume marchand extrapolées à 60 ans d'après le modèle de Prégent *et al.* (1996) et selon le territoire d'étude et les meilleures parcelles d'épinette noire

Domaine bioclimatique	Tous				Groupe supérieur (66%)			Groupe supérieur (33%)		
	n	IQS25	Vm60	Acc_an	n	IQS25	Vm60	n	IQS25	Vm60
Tous	186	6.11	175.38	2.9	123	7.05	206.61	61	8.00	234.78

IQS25 : indice de qualité de station à 25 ans; Vm60 : m³/ha; Acc_an : m³/ha/an;

Pour la figure 11, de même que les subséquentes, les résultats sont présentés sous la forme de courbes de volume marchand en m³/ha en fonction de l'âge total en années (A). Les valeurs jusqu'à 35 ans sont basées sur les données réelles mesurées dans l'ensemble des plantations. De 35 à 60 ans, les valeurs correspondent à une extrapolation selon le modèle proposé par Prégent *et al.* (1996). La localisation de chaque plantation est illustrée sous chacune des courbes de volume marchand (B). À noter que les symboles sont proportionnels au volume marchand de chacune des plantations. L'échelle des symboles diffère d'une carte à l'autre.

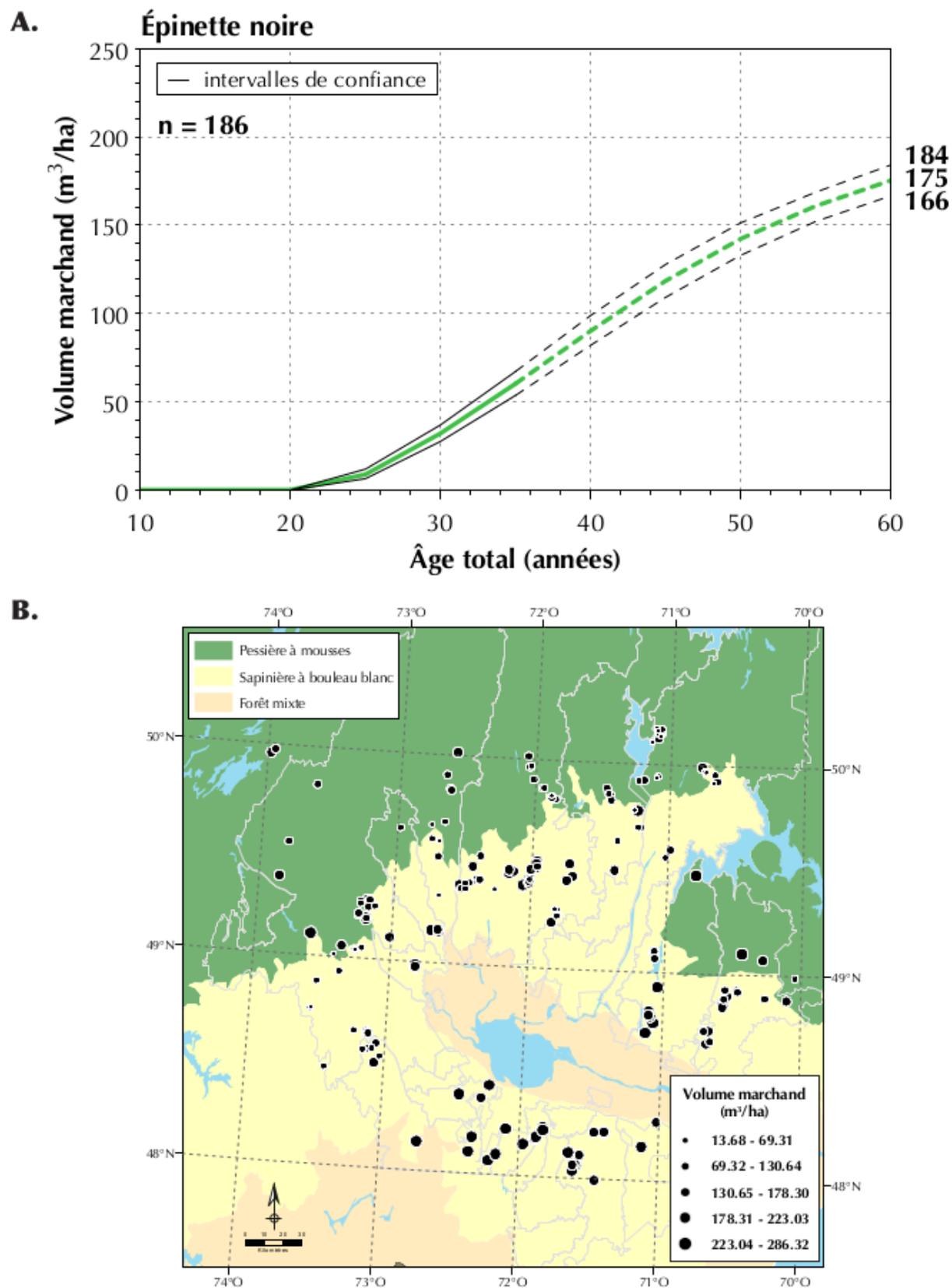


Figure 11 - Volume marchand des plantations d'épinette noire (A) représenté dans le territoire d'étude ($n = 186$) (B). Les valeurs extrapolées débutent à 35 ans. La valeur à 60 ans correspond à $175 m^3/ha$.

B. Territoire d'étude selon les domaines bioclimatiques

En discriminant selon cette subdivision, on remarque que les IQS moyens à 25 ans sont significativement ($p < .0001$) plus élevés dans la sapinière (6.42 ± 1.70) en comparaison avec la pessière (5.35 ± 1.37) (figure 12 et tableau 4). Dans ce dernier domaine bioclimatique, plus de 79 % des plantations ont enregistré un IQS dans les classes 4-5, 5-6 et 6-7. Il y a plus de variations dans la sapinière alors qu'une proportion de 35 % des parcelles ont des IQS supérieurs à 7. Les valeurs de volume marchand à 60 ans correspondent respectivement à 186 dans la sapinière et 147 m³/ha dans la pessière (figures 13 et 14). L'accroissement annuel moyen est égal respectivement à 3.1 et 2.4 m³/ha/an.

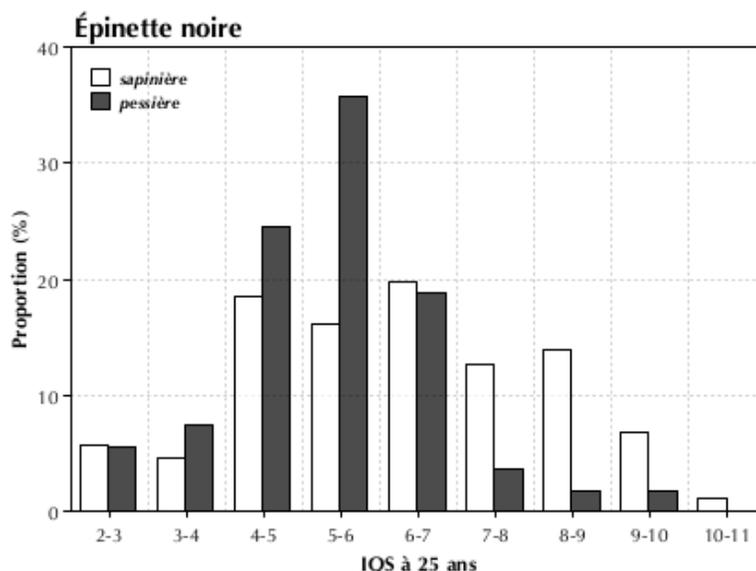


Figure 12 - Histogrammes (%) des classes d'IQS à 25 ans dans les parcelles d'épinette noire selon les domaines bioclimatiques

Tableau 4 - Valeurs moyennes d'IQS à 25 ans et valeurs de volume marchand extrapolées à 60 ans d'après le modèle de Prégent *et al.* (1996) en fonction des domaines bioclimatiques et des meilleures parcelles d'épinette noire

Domaine bioclimatique	Tous				Groupe supérieur (66%)			Groupe supérieur (33%)		
	n	IQS25	Vm60	Acc_an	n	IQS25	Vm60	n	IQS25	Vm60
Sapinière	133	6.42 ^a	186.01	3.1	88	7.39	215.77	44	8.28	241.65
Pessière	53	5.35 ^b	146.71	2.4	35	6.07	173.91	17	6.84	199.87

IQS25 : indice de qualité de station à 25 ans; Vm60 : m³/ha; Acc_an : m³/ha/an;

Sapinière

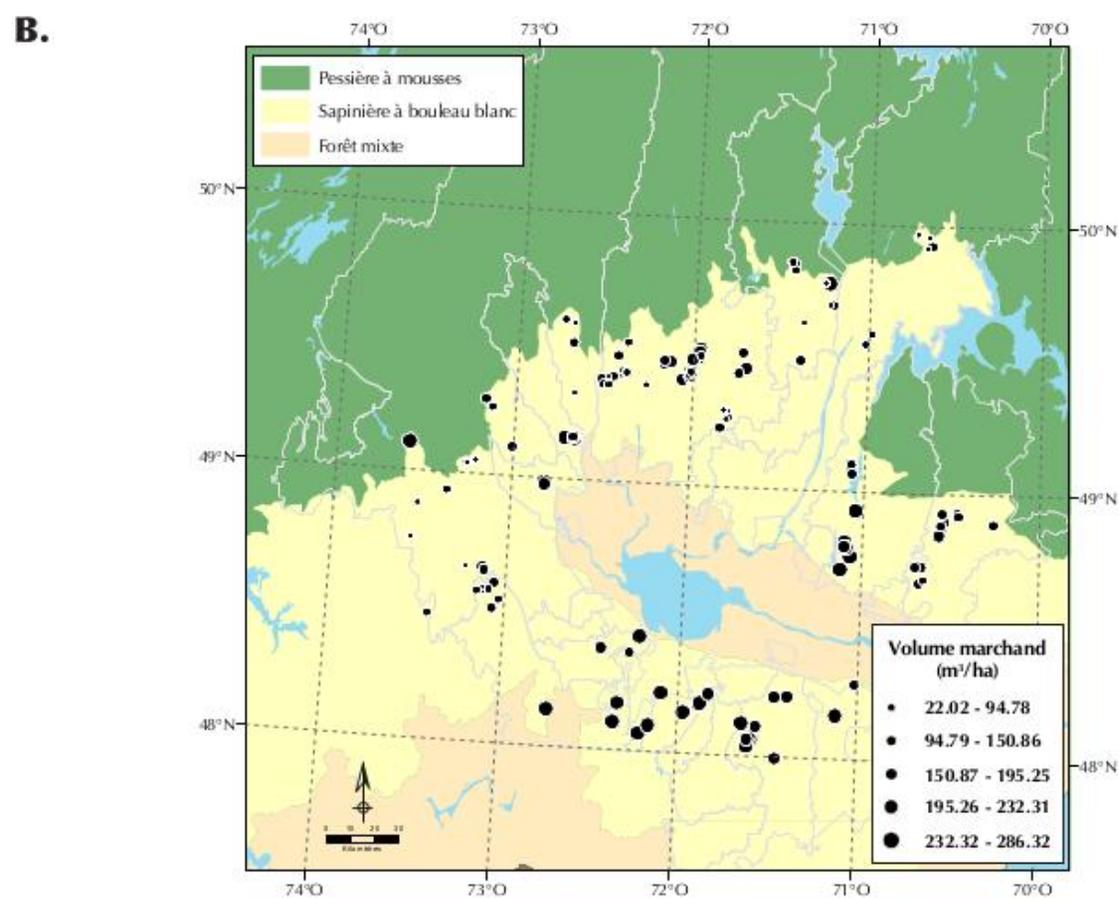
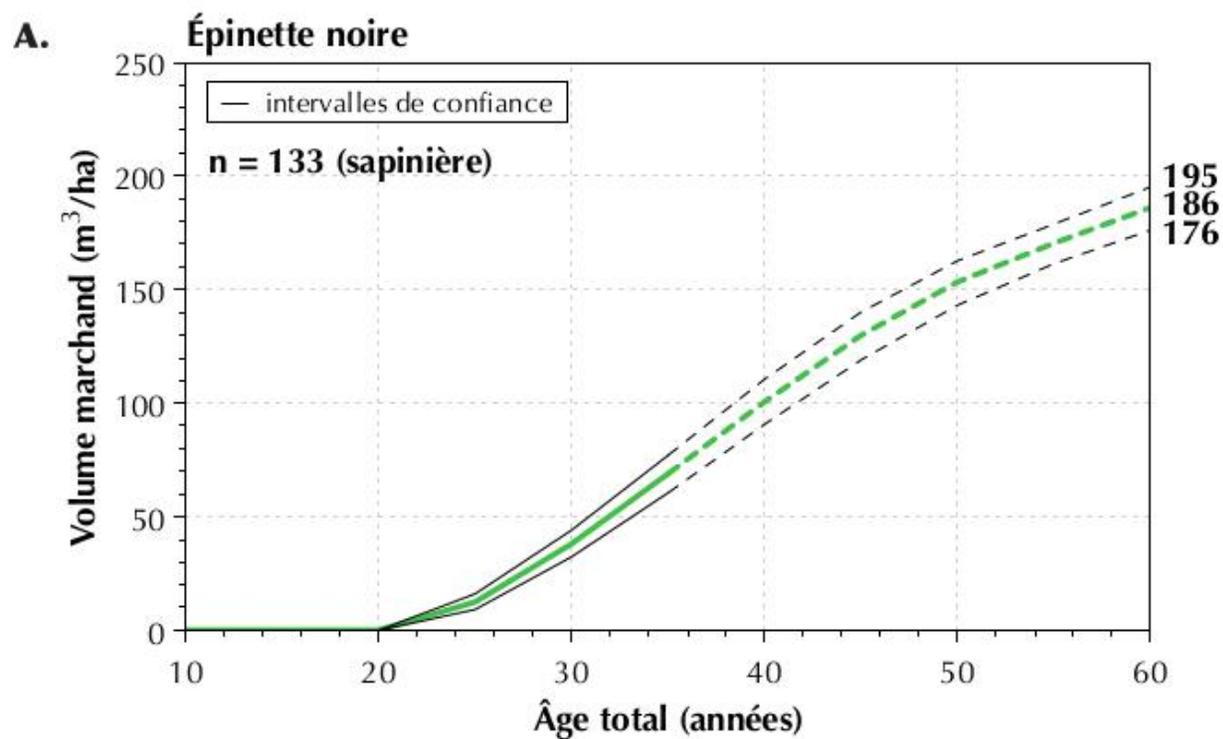


Figure 13 - Volume marchand des plantations d'épinette noire (A) représenté dans la sapinière ($n = 133$) (B). Les valeurs extrapolées débutent à 35 ans. La valeur à 60 ans correspond à $186 \text{ m}^3/\text{ha}$.

Pessière

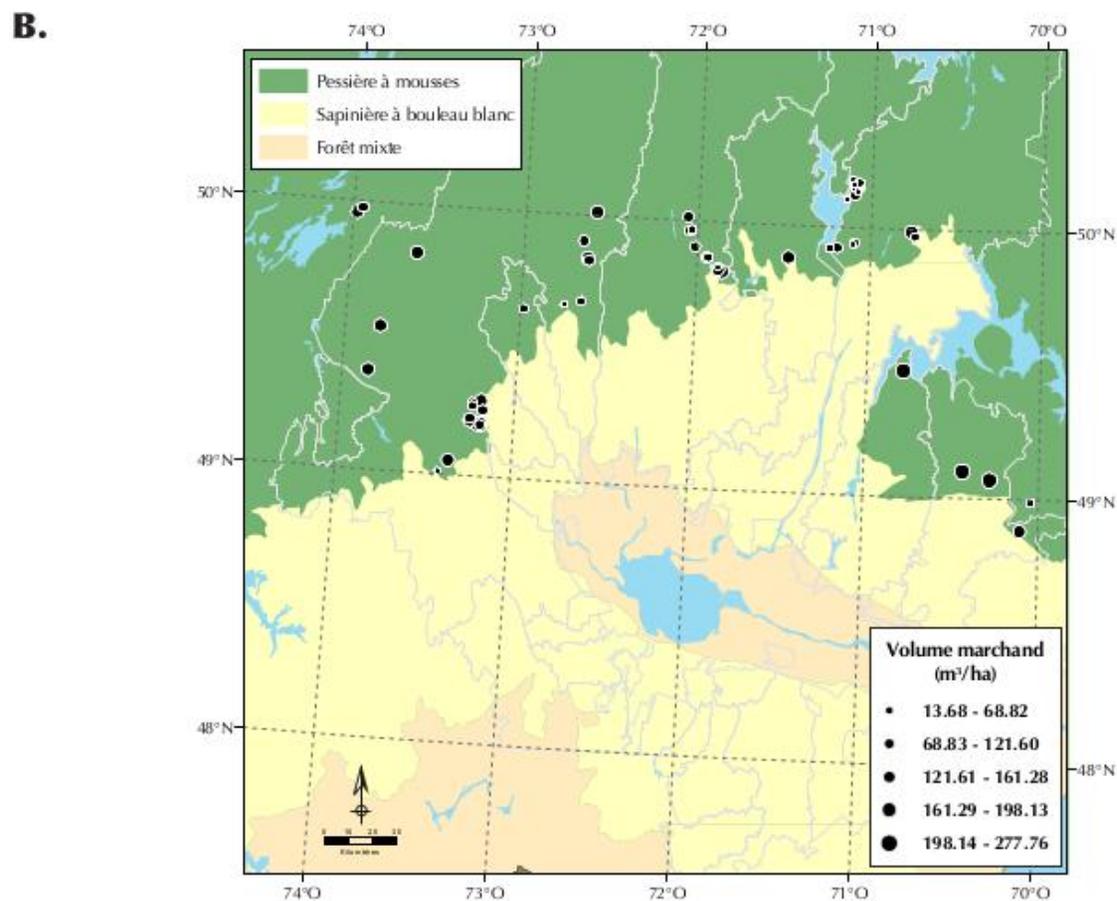
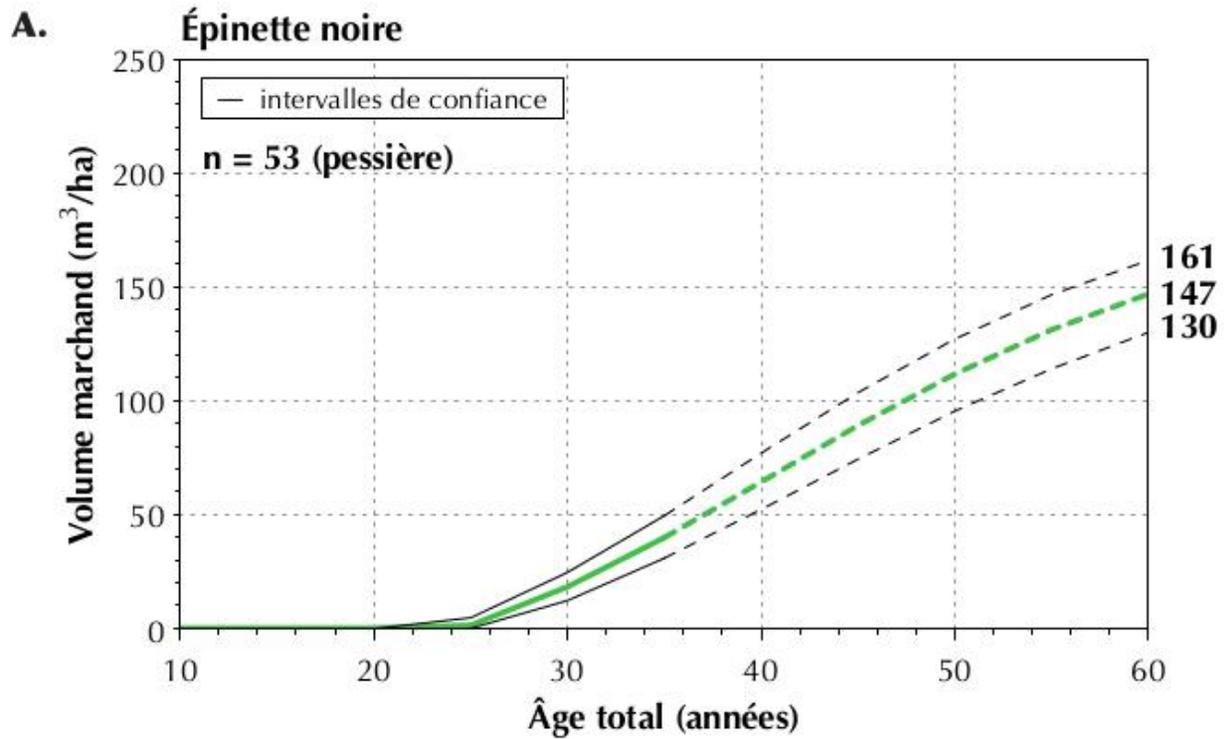


Figure 14 - Volume marchand des plantations d'épinette noire (A) représenté dans la pessière (n = 53) (B). Les valeurs extrapolées débutent à 35 ans. La valeur à 60 ans correspond à 147 m^3/ha .

C. Territoire d'étude selon les types écologiques

Trois catégories ont été retenues pour cet examen. Les types écologiques MS, RS2 et RE2. Le premier correspond à la combinaison des MS1 et MS2.

Les 186 parcelles d'épinette noire dans le territoire d'étude se classent à 23, 97 et 65 reprises dans les types écologiques MS, RS2 et RE2 (tableau 5). Une parcelle a été exclue dans le type RE1. Les résultats indiquent des IQS à 25 ans significativement différents ($p < .0001$) entre les MS (8.07), les RS2 (6.27) et les RE2 (5.21) (tableau 5). Les volumes marchands extrapolés à 60 ans équivalent à 237, 181 et 141 m³/ha respectivement.

Tableau 5 - Valeurs moyennes d'IQS à 25 ans et valeurs de volume marchand extrapolées à 60 ans d'après le modèle de Prégent *et al.* (1996) en fonction des types écologiques et des meilleures parcelles d'épinette noire dans le territoire d'étude, la sapinière et la pessière

Type écologique	Tous				Groupe supérieur (66%)			Groupe supérieur (33%)		
	n	IQS25	Vm60	Acc_an	n	IQS25	Vm60	n	IQS25	Vm60
<i>Territoire d'étude</i>										
MS	23	8.07 ^a	236.91	3.9	15	8.55	247.78	8	8.88	258.51
RS2	97	6.27 ^b	181.11	3.0	64	7.21	211.22	32	8.08	236.95
RE2	65	5.21 ^c	140.64	2.3	43	5.88	166.82	21	6.49	188.16
<i>Sapinière</i>										
MS	22	8.09 ^a	237.14	4.0	15	8.55	247.78	7	8.94	260.28
RS2	66	6.63 ^b	192.37	3.2	44	7.54	220.63	22	8.32	242.42
RE2	44	5.32 ^c	145.43	2.4	29	6.02	172.01	15	6.60	191.28
<i>Pessière</i>										
RS2	31	5.51	153.29	2.6	20	6.30	182.15	10	7.14	209.31
RE2	21	5.00	131.10	2.2	14	5.57	155.65	7	6.12	175.77

IQS25 : indice de qualité de station à 25 ans; Vm60 : m³/ha; Acc_an : m³/ha/an;

La sélection des parcelles d'épinette noire dans la sapinière (n=132) se répartit à 22, 66 et 44 reprises dans les types écologiques MS, RS2 et RE2. Nous obtenons des différences significatives ($p < .0001$) entre les IQS à 25 ans des MS (8.09), des RS2 (6.63) et des RE2 (5.32) (tableau 5). L'extrapolation des volumes marchands à 60 ans produit des valeurs de 237, 192 et 145 m³/ha respectivement.

Au total, 53 parcelles d'épinette noire ont été échantillonnées dans la pessière. Elles se retrouvent à 31 et 21 reprises dans les types écologiques RS2 et RE2. Une parcelle MS unique a été exclue. Les différences sont non significatives entre les IQS à 25 ans pour les RS2 (5.51) et pour les RE2 (5.00) (tableau 5). Les volumes marchands extrapolés à 60 ans correspondent à 153 et à 131 m³/ha respectivement. Ceci est inférieur aux résultats obtenus dans la sapinière pour des types écologiques similaires.

D. Territoire d'étude selon les regroupements d'UA

Les intervenants du MRN ont décidé pour l'année 2014 de considérer des regroupements d'UA afin de mieux reproduire les catégories utilisées dans les calculs de la possibilité forestière par l'équipe d'experts du Bureau du forestier en chef.

Il a été convenu de procéder à quatre divisions du territoire comme suit :

la sapinière et la pessière au Lac-Saint-Jean (LSJ_sp) :	UAF 2251,2451,2452,2551,2751
la sapinière au Lac-Saint-Jean (LSJ_s) :	UAF 2251
la pessière au Lac-Saint-Jean (LSJ_p) :	UAF 2451, 2452, 2551, 2751
la sapinière au Saguenay (SAG_s) :	UAF 2351, 2352

Ces entités ont été utilisées pour produire les calculs d'IQS et de volume marchand comme précédemment. La pessière au Saguenay a été écartée des analyses en raison du trop faible nombre de plantations échantillonnées (n=3). Le nombre final de parcelles est de 181 pour l'épinette noire. Cinq plantations ont été exclues étant hors limite des UA.

La valeur de l'IQS moyen à 25 ans des 137 parcelles d'épinette noire dans la sapinière et la pessière au Lac-Saint-Jean (LSJ_sp) est égale à 5.74 (tableau 6). Le volume marchand extrapolé à 60 ans correspond à une valeur de 162 m³/ha. L'IQS dans la sapinière (n=91) est significativement supérieur (p = 0.0017) (6.06) à celui de la pessière (5.12). Les valeurs de volume marchand à 60 ans sont respectivement de 174 et 137 m³/ha. Dans la sapinière (SAG_s) au Saguenay, les 41 parcelles d'épinette noire ont enregistré un IQS moyen à 25 ans de 7.25 ce qui équivaut à un volume marchand extrapolé à 60 ans de 212 m³/ha.

Tableau 6 - Valeurs moyennes d'IQS à 25 ans et valeurs de volume marchand extrapolées à 60 ans d'après le modèle de Prigent *et al.* (1996) en fonction des regroupements d'unités d'aménagement (UA) et des meilleures parcelles d'épinette noire au Lac-Saint-Jean et au Saguenay

Regroupements d'UA	Tous				Groupe supérieur (66%)			Groupe supérieur (33%)		
	n	IQS25	Vm60	Acc_an	n	IQS25	Vm60	n	IQS25	Vm60
<i>Lac Saint-Jean</i>										
LSJ_sp	137	5.74	162.00	2.7	90	6.65	193.10	45	7.64	223.94
LSJ_s	91	6.06 ^a	173.51	2.9	60	7.07	207.21	30	8.10	237.48
LSJ_p	46	5.12 ^b	136.62	2.3	30	5.78	163.42	15	6.34	183.46
<i>Saguenay</i>										
SAG_s	41	7.25	212.31	3.5	27	7.85	230.55	14	8.41	244.19

IQS25 : indice de qualité de station à 25 ans; Vm60 : m³/ha; Acc_an : m³/ha/an;

E. Territoire d'étude selon les regroupements d'UA et les types écologiques

Les 136 parcelles d'épinette noire dans la sapinière et la pessière combinée au Lac-Saint-Jean se classent à 6, 75 et 55 reprises dans les types écologiques MS, RS2 et RE2. Une unique parcelle RE1 a été exclue des analyses. L'IQS à 25 ans est significativement plus élevé (p < .0001) dans les MS (8.09) comparativement aux RS2 (6.07) et aux RE2 (5.07) (tableau 7). Les valeurs correspondantes de volume marchand extrapolé à 60 ans sont égales à 237, 174 et 134 m³/ha respectivement.

Les types écologiques RS2 présentent des indices de qualité de station supérieures aux RE2 autant dans la sapinière (6.53 > 5.16) que dans la pessière (5.27 > 4.91) au Lac-Saint-Jean. Les variations sont surtout marquantes entre les deux domaines bioclimatiques (6.53 > 5.27). Les 41 parcelles d'épinette noire dans la sapinière au Saguenay révèlent des valeurs de volume marchand nettement plus élevées que celles enregistrées au Lac-Saint-Jean indépendamment du type écologique.

Tableau 7 - Valeurs moyennes d'IQS à 25 ans et valeurs de volume marchand extrapolées à 60 ans d'après le modèle de Prigent *et al.* (1996) selon les regroupements d'unités d'aménagement (UA), les types écologiques et les meilleures parcelles d'épinette noire au Lac-Saint-Jean et au Saguenay

Type écologique	Tous				Groupe supérieur (66%)			Groupe supérieur (33%)		
	n	IQS25	Vm60	Acc_an	n	IQS25	Vm60	n	IQS25	Vm60
Lac-Saint-Jean										
<i>Sapinière et Pessière</i>										
MS	6	8.09 ^a	237.14	4.0	4	8.79	255.67	2	9.18	266.80
RS2	75	6.07 ^b	173.91	2.9	50	7.00	205.13	25	8.00	234.78
RE2	55	5.07 ^c	134.34	2.2	36	5.73	161.64	18	6.41	185.67
<i>Sapinière</i>										
MS	6	8.09 ^a	237.14	4.0	4	8.79	255.67	2	9.18	266.80
RS2	48	6.53 ^a	189.33	3.2	32	7.58	221.96	16	8.49	245.55
RE2	36	5.16 ^b	138.42	2.3	24	5.83	165.14	12	6.58	190.72
<i>Pessière</i>										
RS2	27	5.27	143.27	2.4	18	5.93	168.44	9	6.53	189.33
RE2	19	4.91	126.87	2.1	13	5.44	150.45	6	6.05	173.16
Saguenay										
<i>Sapinière</i>										
MS	16	8.09 ^a	237.14	4.0	11	8.47	245.30	5	8.84	257.30
RS2	18	6.91 ^b	202.23	3.4	12	7.44	217.04	6	7.86	230.92
RE2	7	6.21 ^b	179.00	3.0	5	6.39	185.04	2	6.66	193.41

IQS25 : indice de qualité de station à 25 ans; Vm60 : m³/ha; Acc_an : m³/ha/an;

4. Tests de puissance

Un test statistique de puissance a été appliqué pour examiner si la base de données contenait un nombre suffisant de plantations afin de déterminer l'indice de qualité de station avec une précision d'au moins une (1) unité d'IQS dans 95 % du temps. Le test a été conduit au niveau de chaque espèce et domaine écologique.

A. Territoire d'étude

Les valeurs d'IQS calculées dans les 186 plantations réparties dans la sapinière et la pessière suivent une distribution normale (figure 15). L'échantillonnage des 186 parcelles dans l'aire de l'étude a permis de détecter une différence de ± 0.45 unité d'IQS dans 95 % du temps si 1.68 est le vrai écart-type de la population (tableau 8).

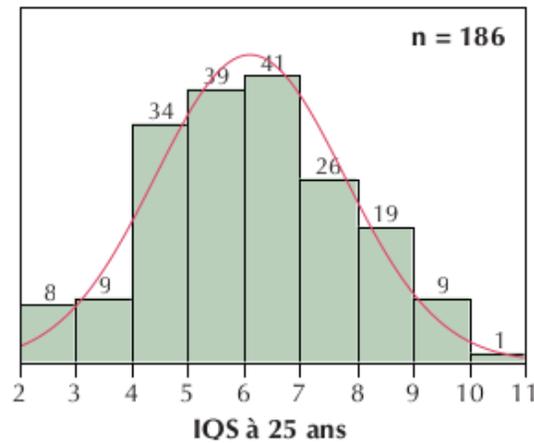


Figure 15 - Distribution des classes d'IQS à 25 ans des plantations d'épinette noire dans le territoire d'étude. La ligne rouge correspond à une courbe de distribution normale.

Tableau 8 - Résultats des tests de puissance pour l'épinette noire dans le territoire d'étude

	nombre de plantations	IQS écart-type	unité d'IQS détectée	unité d'IQS espérée	nombre requis	différence à combler
Épinette noire						
<i>Territoire d'étude</i>	186	1.68	0.45	1	39	aucune

B. Territoire d'étude selon les domaines bioclimatiques

Les valeurs d'IQS calculées dans les plantations réparties dans la sapinière et la pessière suivent une distribution normale (figure 16). L'échantillonnage de 133 parcelles dans la sapinière a permis de détecter un IQS moyen avec une précision de ± 0.54 unité d'IQS (tableau 9). Dans le domaine bioclimatique de la pessière, l'échantillonnage de 53 parcelles a permis de détecter un IQS moyen avec une précision de ± 0.69 unité d'IQS.

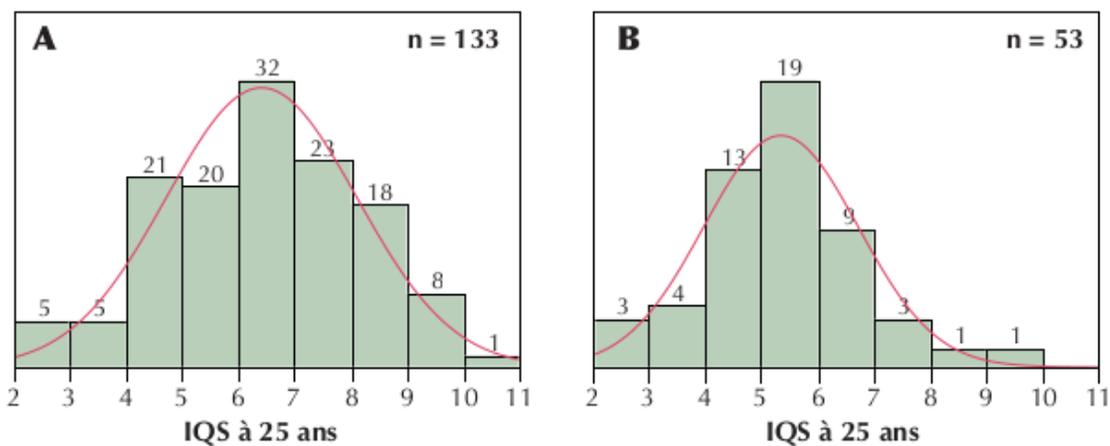


Figure 16 - Distribution des classes d'IQS à 25 ans des plantations d'épinette noire dans A. la sapinière et B. la pessière. La ligne rouge correspond à une courbe de distribution normale.

Tableau 9 - Résultats des tests de puissance pour l'épinette noire dans la sapinière et la pessière

	nombre de plantations	IQS écart-type	unité d'IQS détectée	unité d'IQS espérée	nombre requis	différence à combler
Épinette noire						
<i>Sapinière</i>	133	1.70	0.54	1	40	aucune
<i>Pessière</i>	53	1.37	0.69	1	27	aucune

C. Territoire d'étude selon les regroupements d'UA

Lac-Saint-Jean

Les valeurs d'IQS calculées dans les plantations réparties dans la sapinière et la pessière au Lac-Saint-Jean suivent une distribution normale (figure 17). Le regroupement des parcelles dans la sapinière et la pessière (n = 137) a permis de détecter une différence de ± 0.52 unité d'IQS dans 95 % du temps si 1.68 est le vrai écart-type de la population (tableau 10). En considérant la sapinière (n = 91) et la pessière (n = 46) séparément, nous obtenons également une précision supérieure à une unité d'IQS avec 0.69 et 0.64 respectivement.

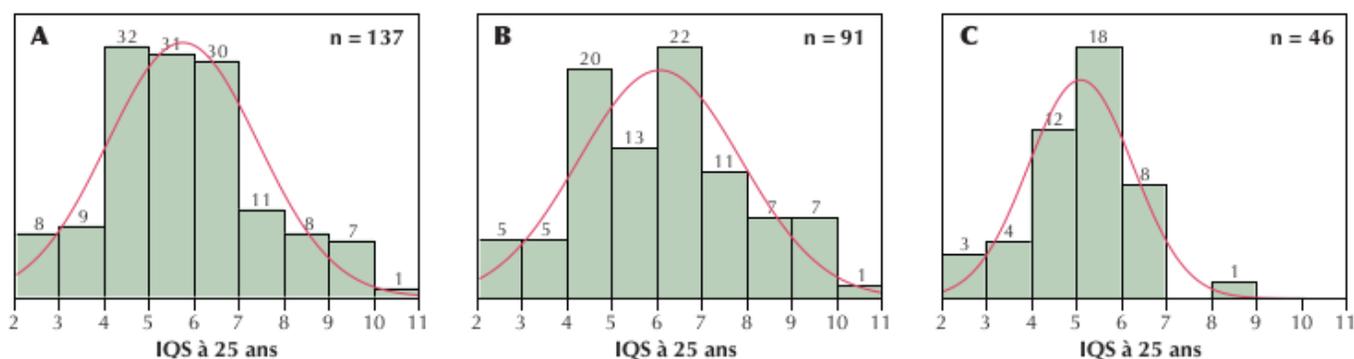


Figure 17 - Distribution des classes d'IQS à 25 ans des plantations d'épinette noire au Lac-Saint-Jean; A. sapinière et pessière combinées ; B. dans la sapinière; C. dans la pessière. La ligne rouge correspond à une courbe de distribution normale.

Tableau 10 - Résultats des tests de puissance pour l'épinette noire dans la sapinière (LSJ_s), la pessière (LSJ_p) et les deux combinées (LSJ_sp) au Lac-Saint-Jean

	nombre de plantations	IQS écart-type	unité d'IQS détectée	unité d'IQS espérée	nombre requis	différence à combler
Épinette noire						
<i>Lac-Saint-Jean</i>						
<i>LSJ_sp</i>	137	1.68	0.52	1	39	aucune
<i>LSJ_s</i>	91	1.81	0.69	1	45	aucune
<i>LSJ_p</i>	46	1.17	0.64	1	20	aucune

Saguenay

Les valeurs d'IQS calculées dans les 41 plantations réparties dans la sapinière au Saguenay suivent une distribution normale (figure 18).

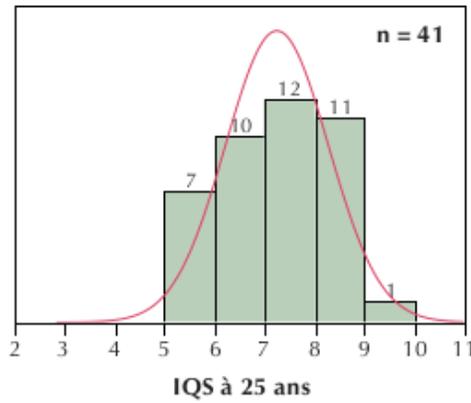


Figure 18 - Distribution des classes d'IQS à 25 ans des plantations d'épinette noire au Saguenay dans la sapinière. La ligne rouge correspond à une courbe de distribution normale.

Les parcelles échantillonnées dans la sapinière au Saguenay (n = 41) a permis de détecter une différence de ± 0.59 unité d'IQS dans 95 % du temps si 1.03 est le vrai écart-type de la population (tableau 11).

Tableau 11 - Résultats des tests de puissance pour l'épinette noire dans la sapinière (SAG_s) au Saguenay

	nombre de plantations	IQS écart-type	unité d'IQS détectée	unité d'IQS espérée	nombre requis	différence à combler
Épinette noire						
<i>Saguenay</i>						
SAG_s	41	1.03	0.59	1	16	aucune

PIN GRIS

1. Statistiques descriptives

A. Territoire d'étude

La dimension et le nombre de tige par hectare a été variable pour les 76 plantations. On retrouve dans la classe 0.020 à 0.025 une proportion de 46 % des parcelles de pin gris (figure 4). Les plantations de pin gris occupent plus de 27 % de la classe 2000 à 2500 tiges à l'hectare (figure 19).

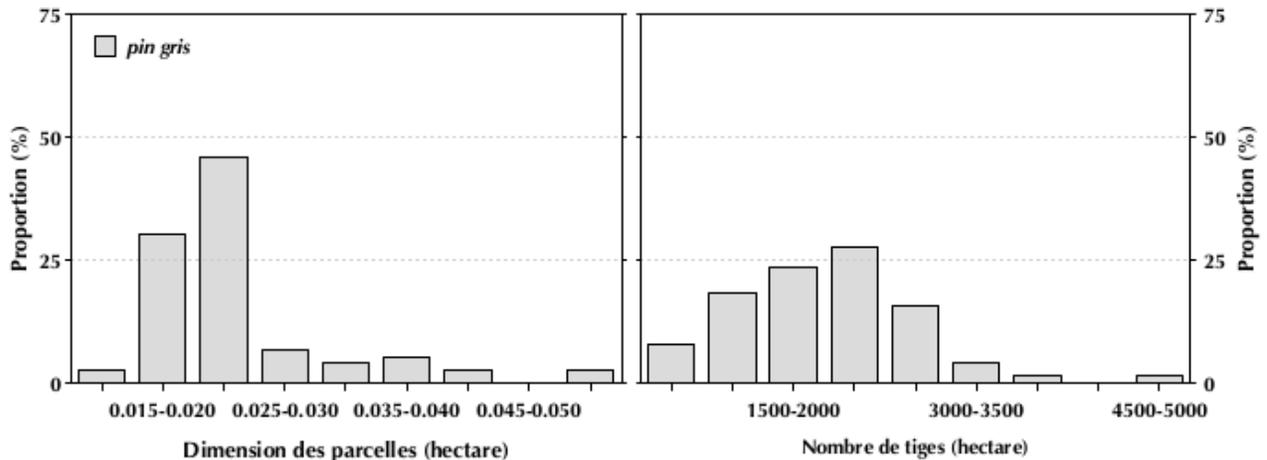


Figure 19 - Histogrammes de la dimension des parcelles et du nombre de tiges (hectare) chez les 76 plantations de pin gris

B. Territoire d'étude selon les domaines bioclimatiques

Des différences significatives ($p = 0.0324$) ont été enregistrées au niveau de la densité de tiges à l'hectare entre les domaines bioclimatiques chez le pin gris (figure 20).

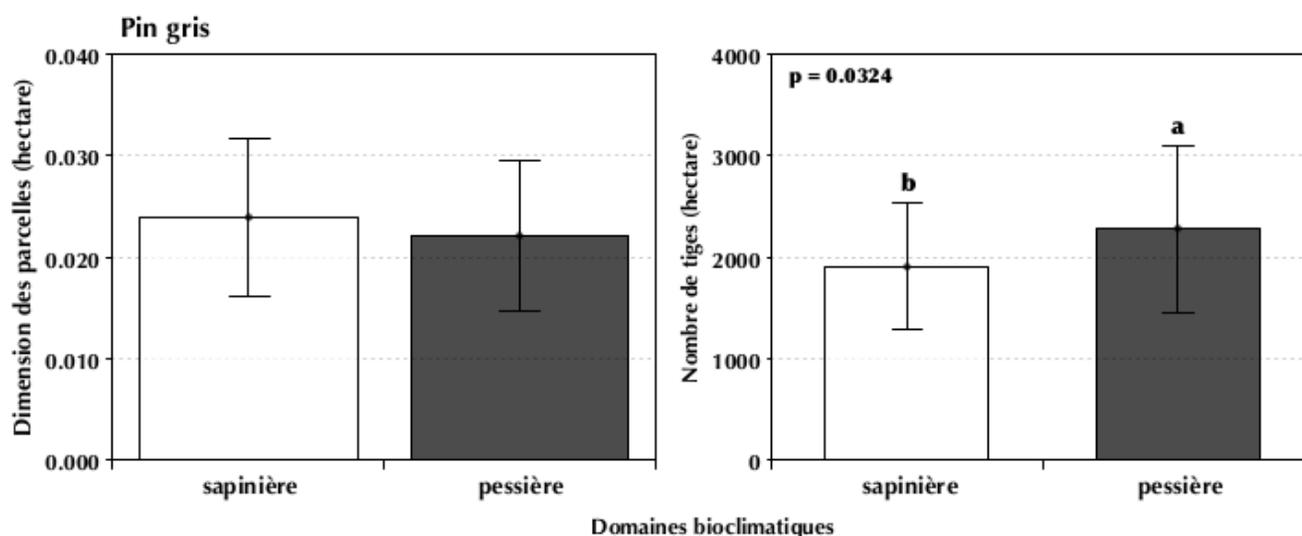


Figure 20 - Histogrammes de la dimension des parcelles et du nombre de tiges (hectare) chez les 76 plantations de pin gris selon les domaines bioclimatiques. Les différences significatives sont illustrées par les lettres a et b.

2. Calcul du volume du peuplement sur pied lors de la prise de données

A. Territoire d'étude

Un total de 76 plantations a été échantillonné dans les unités de gestion de la région du Saguenay – Lac-Saint-Jean (tableau 12). La moyenne d'âge des parcelles est de 22.5 ans (24.3 en pépinière). La plus jeune plantation est âgée de 19 ans et la plus vieille de 37 ans. Le nombre moyen de tiges plantées par parcelle est égal à 43.8 ($11 \leq x \leq 59$). En moyenne, la hauteur a atteint 7.5 m ($3.8 \leq x \leq 13.6$) et le DHP 8.8 cm ($4.7 \leq x \leq 14.9$). Le décompte moyen des tiges naturelles équivaut à 42.6 arbres par parcelle. Les valeurs de volume sur pied minimales et maximales, d'après Forslund et Paterson (1994) sont de 8 et 218 m³/ha.

Tableau 12 - Statistiques descriptives et calculs du volume sur pied dans les 76 plantations de pin gris

Site	Unités gestion	Domaine bioclimatique	Longitude	Latitude	Plantation		DHP (cm)	hauteur (m)	Parcelle		Forslund m ³ /ha
					date	âge ¹			n	ha	
001P	27	sapinière	71.97	49.35	1982	31	13.81	13.57	54	0.022	218.48
283	22	sapinière	72.50	48.48	1984	30	12.70	12.22	48	0.023	138.72
284A	22	sapinière	72.24	48.35	1985	29	13.10	12.46	46	0.024	133.35
PLP01	23	sapinière	71.21	48.68	1985	29	11.63	10.11	52	0.020	132.50
287	22	sapinière	72.30	48.06	1983	31	14.68	12.39	28	0.020	127.07
280_D	22	sapinière	72.48	48.46	1977	37	14.74	11.97	29	0.026	99.26
201_D	21	sapinière	71.00	48.14	1985	29	10.12	10.61	49	0.020	94.86
279_D	22	sapinière	72.30	48.04	1990	24	10.59	10.89	27	0.014	85.55

¹ âge total (pépinière + plantation);

Tableau 12 - Statistiques descriptives et calculs du volume sur pied dans les 76 plantations de pin gris

Site	Unités gestion	Domaine bioclimatique	Longitude	Latitude	Plantation		DHP (cm)	hauteur (m)	Parcelle		Forslund m ³ /ha
					date	âge ¹			n	ha	
285	22	sapinière	72.44	48.24	1988	26	11.09	8.87	42	0.023	79.11
256	25	pessière	73.55	49.72	1992	22	7.69	6.89	55	0.012	78.54
1004	25	pessière	73.42	49.06	1992	22	9.51	7.17	52	0.018	76.19
203A	21	sapinière	70.95	48.56	1990	24	9.19	9.32	50	0.020	74.30
235	25	pessière	74.31	49.01	1993	21	10.04	8.00	46	0.020	73.16
202_D	21	sapinière	71.00	48.14	1985	29	11.44	10.67	39	0.029	68.81
239	25	pessière	73.81	49.39	1993	21	9.95	7.22	46	0.019	68.53
288	22	sapinière	72.10	48.16	1993	21	9.80	7.38	50	0.022	68.07
267_D	27	sapinière	71.95	49.60	1994	20	9.36	7.79	54	0.022	67.31
PLP10	27	sapinière	72.01	49.40	1987	25	10.04	9.16	50	0.027	63.67
249	25	pessière	73.17	49.32	1985	29	11.20	8.80	28	0.020	60.13
076P	21	sapinière	71.60	48.07	1986	27	13.56	9.18	50	0.053	58.48
2210	24	pessière	70.64	49.98	1992	22	9.56	7.27	40	0.019	57.86
248	25	pessière	73.31	49.30	1992	22	7.36	6.36	50	0.014	56.68
543	25	sapinière	72.84	49.52	1986	30	13.79	9.06	20	0.023	56.51
538	25	sapinière	73.36	48.85	1990	26	9.32	7.57	40	0.020	55.40
537	25	sapinière	73.36	48.86	1990	26	10.45	7.63	23	0.016	53.88
207_D	24	sapinière	71.86	48.97	1989	25	8.21	6.08	52	0.018	53.52
258	25	pessière	72.71	49.89	1991	23	8.67	7.61	49	0.021	53.44
324	25	sapinière	73.24	48.65	1993	22	8.04	6.51	47	0.017	52.55
240	25	pessière	73.79	49.54	1993	21	8.30	6.12	46	0.017	52.31
1002	25	pessière	73.27	49.21	1989	24.5	8.79	6.66	46	0.022	52.10
219	27	sapinière	71.56	49.28	1988	26	11.05	9.07	44	0.035	51.69
1003	25	pessière	73.23	49.25	1989	24.5	9.93	7.86	33	0.022	51.57
282	22	sapinière	72.59	48.51	1985	29	8.06	8.28	51	0.023	50.11
200	21	sapinière	71.86	48.26	1987	27	14.94	11.36	11	0.020	47.46
252	25	pessière	73.58	49.50	1989	24.5	7.31	6.34	49	0.016	47.34
325	25	sapinière	73.21	48.67	1991	24	8.63	7.20	50	0.025	46.24
262A	24	sapinière	70.99	49.58	1995	19	8.98	6.93	33	0.017	45.72
286A	22	sapinière	72.58	48.15	1989	25	11.40	8.85	28	0.028	44.63
545	25	sapinière	73.44	48.47	1986	30	9.49	8.00	25	0.016	44.21
077P	21	sapinière	71.57	48.09	1990	23	11.68	8.38	50	0.051	43.23
345	27	sapinière	72.10	49.53	1993	22	7.88	6.41	51	0.022	43.13
209	24	sapinière	71.57	49.52	1993	21	7.71	6.91	49	0.020	42.66
292A_D	22	sapinière	72.47	48.45	1994	20	8.25	7.43	41	0.022	42.20

¹ âge total (pépinière + plantation);

Tableau 12 - Statistiques descriptives et calculs du volume sur pied dans les 76 plantations de pin gris

Site	Unités gestion	Domaine bioclimatique	Longitude	Latitude	Plantation		DHP (cm)	hauteur (m)	Parcelle		Forslund m ³ /ha
					date	âge ¹			n	ha	
PLP05	25	sapinière	72.69	49.52	1988	24	6.70	6.39	52	0.017	41.67
PLP09	25	pessière	73.26	49.27	1989	23	7.83	7.41	50	0.022	41.54
2258	21	sapinière	71.19	48.66	1994	20	7.63	6.76	44	0.017	41.50
222	27	sapinière	71.58	49.44	1986	28	8.26	7.33	50	0.025	40.59
004P	25	pessière	73.64	49.11	1989	23	9.91	8.39	50	0.039	40.45
PLP02	23	pessière	70.17	48.90	1991	22	7.59	5.88	49	0.020	39.99
241	25	pessière	72.76	49.67	1993	21	9.81	7.28	38	0.028	38.45
006P	24	sapinière	71.10	49.83	1984	27	8.51	7.15	45	0.027	38.40
535	25	sapinière	73.21	48.66	1986	30	6.42	5.87	58	0.019	36.89
PLP08	25	sapinière	72.99	49.06	1991	21	7.46	5.97	50	0.021	36.63
251A	25	pessière	73.87	49.39	1991	23	6.64	5.85	51	0.019	34.90
262	24	sapinière	70.98	49.59	1995	19	7.98	6.37	46	0.025	32.82
220_D	27	sapinière	71.72	49.30	1993	21	6.65	6.78	56	0.023	32.71
218	27	sapinière	72.17	49.26	1990	24	6.38	6.56	58	0.022	32.39
2236A	25	sapinière	73.24	48.65	1993	21	7.53	5.91	49	0.025	32.27
205	21	pessière	70.29	49.07	1990	24	5.82	5.47	51	0.018	31.91
506	25	sapinière	73.12	48.64	1986	30	10.19	9.67	13	0.015	31.43
1005	25	pessière	72.48	49.88	1992	22	7.22	5.77	37	0.020	27.17
018P	24	sapinière	70.68	49.93	1989	24	8.64	7.18	50	0.042	26.62
PLP07	24	sapinière	71.38	49.64	1991	21	6.68	6.10	50	0.024	26.33
PLP06	27	sapinière	72.50	49.31	1991	22	5.59	5.14	56	0.020	25.39
PLP03	24	sapinière	71.71	48.95	1991	21	5.74	5.88	49	0.020	23.12
016P	24	sapinière	70.65	49.92	1989	24	7.86	6.59	50	0.043	22.24
221	27	sapinière	71.93	49.43	1987	26	5.14	5.26	50	0.022	20.23
326	25	sapinière	73.17	48.65	1986	29	6.55	5.13	42	0.025	19.43
PLP04	24	sapinière	71.74	48.85	1989	23	5.74	5.49	53	0.027	18.83
005P	25	pessière	73.67	49.15	1990	22	6.36	5.40	59	0.038	16.63
313	24	sapinière	71.05	49.55	1992	23	5.48	4.40	27	0.016	14.58
255	25	pessière	73.65	49.81	1990	23	5.70	4.19	35	0.025	14.01
003P	25	pessière	73.65	49.16	1991	21	5.68	5.54	56	0.038	13.06
291A	22	sapinière	72.58	48.46	1994	20	4.66	3.80	27	0.017	8.98
311_D	24	sapinière	71.05	49.53	1991	24	4.78	4.12	25	0.020	8.07
236A_D	25	sapinière	73.56	48.81	1993	21	4.86	3.99	30	0.025	7.84

¹ âge total (pépinière + plantation);

Chez les plantations de pin gris ($n = 76$), la régression entre les valeurs de volume total (méthode du cône) et l'âge total des plants révèle une relation linéaire comparable à celle obtenue pour l'épinette noire ($r^2 = 0.25$) sans discrimination entre les domaines bioclimatiques (figure 21). Cet ajustement linéaire révèle que le volume total du pin gris serait de l'ordre de $112 \text{ m}^3/\text{ha}$ à l'âge de 37 ans.

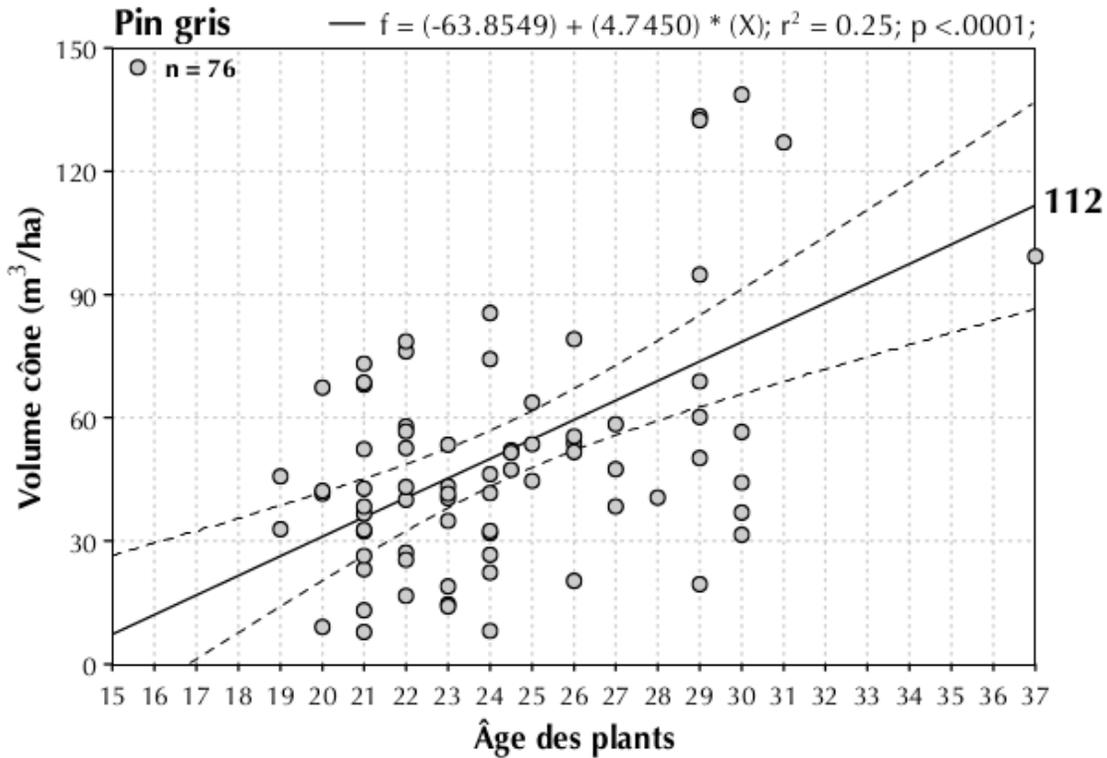
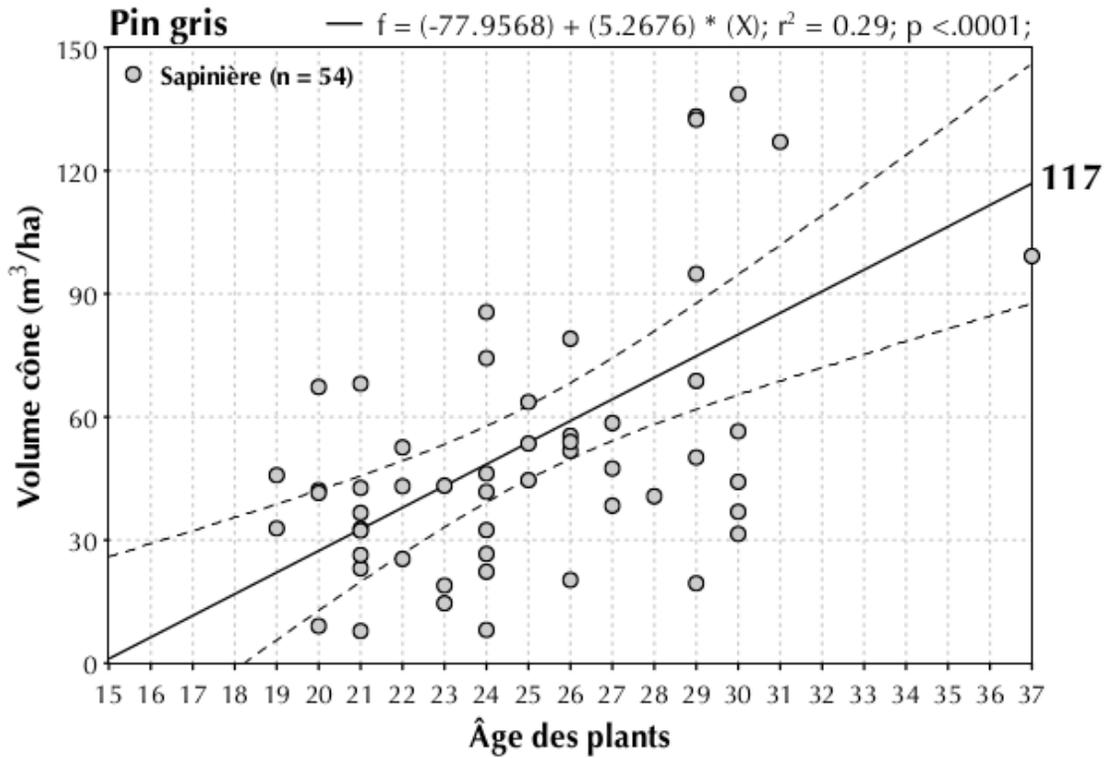


Figure 21 - Volume total sur pied (m^3/ha) des 76 plantations de pin gris

B. Territoire d'étude selon les domaines bioclimatiques

Le coefficient de détermination (r^2) pour la sapinière est égal à 0.29. Le volume total projeté à 37 ans est de l'ordre de $117 \text{ m}^3/\text{ha}$ (figure 22). Aucune équation linéaire prédictive n'est présentée pour le domaine de la pessière (figure 23).

Figure 22 - Volume total sur pied (m³/ha) des 54 plantations de pin gris dans la sapinièreFigure 23 - Volume total sur pied (m³/ha) des 22 plantations de pin gris dans la pessièrre

3. Calcul prédictif du volume marchand

A. Territoire d'étude

La répartition des valeurs d'IQS à 15 ans chez le pin gris, d'après Bolghari et Bertrand (1984), indique qu'il y a 75 % des plantations dont l'indice de qualité de station se retrouve dans les classes 4-5 et 5-6 (figure 24).

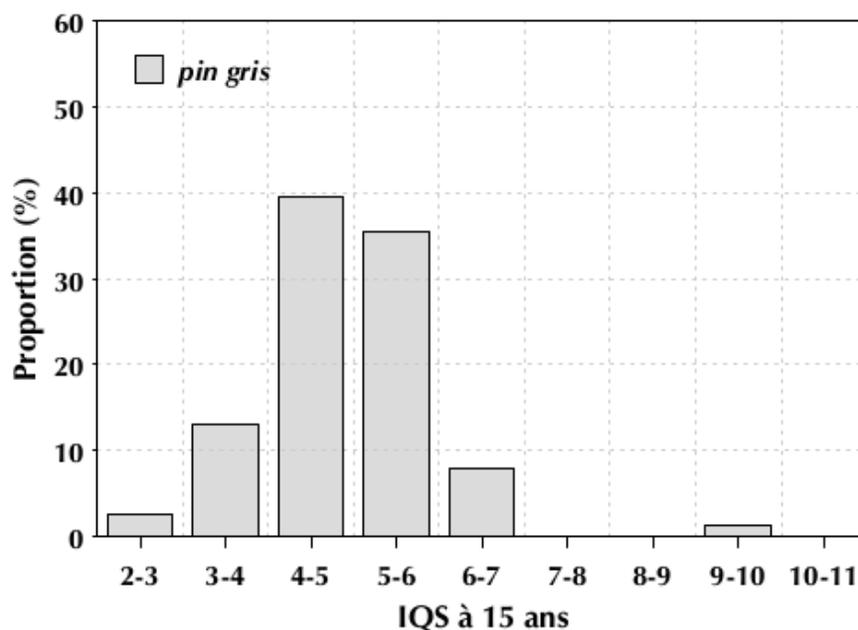


Figure 24 - Histogrammes (%) des classes d'IQS à 15 ans dans les parcelles de pin gris

Pour les 76 plantations de pin gris, l'IQS à 15 ans est égal à 4.88. Le volume marchand à 40 ans correspond à une valeur de 156 m³/ha (tableau 13 et figure 25). L'accroissement annuel moyen est égal à 3.9 m³/ha/an.

Tableau 13 - Valeurs moyennes d'IQS à 15 ans et valeurs de volume marchand à 40 ans d'après le modèle de Bolghari et Bertrand (1984) selon le territoire d'étude et les meilleures parcelles de pin gris

Domaine bioclimatique	Tous				Groupe supérieur (66%)			Groupe supérieur (33%)		
	n	IQS15	Vm40	Acc_an	n	IQS15	Vm40	n	IQS15	Vm40
Tous	76	4.88	155.92	3.9	50	5.39	170.50	25	5.93	186.56

IQS15 : indice de qualité de station à 15 ans; Vm60 : m³/ha; Acc_an : m³/ha/an;

Dans les pages qui suivent, les résultats sont présentés sous la forme de courbes de volume marchand en m³/ha en fonction de l'âge total en années (A). Les valeurs jusqu'à 40 ans sont basées sur le modèle proposé par Bolghari et Bertrand (1984). La localisation de chaque plantation est illustrée sous chacune des courbes de volume marchand (B). À noter que les symboles sont proportionnels au volume marchand de chacune des plantations. L'échelle des symboles diffère d'une carte à l'autre.

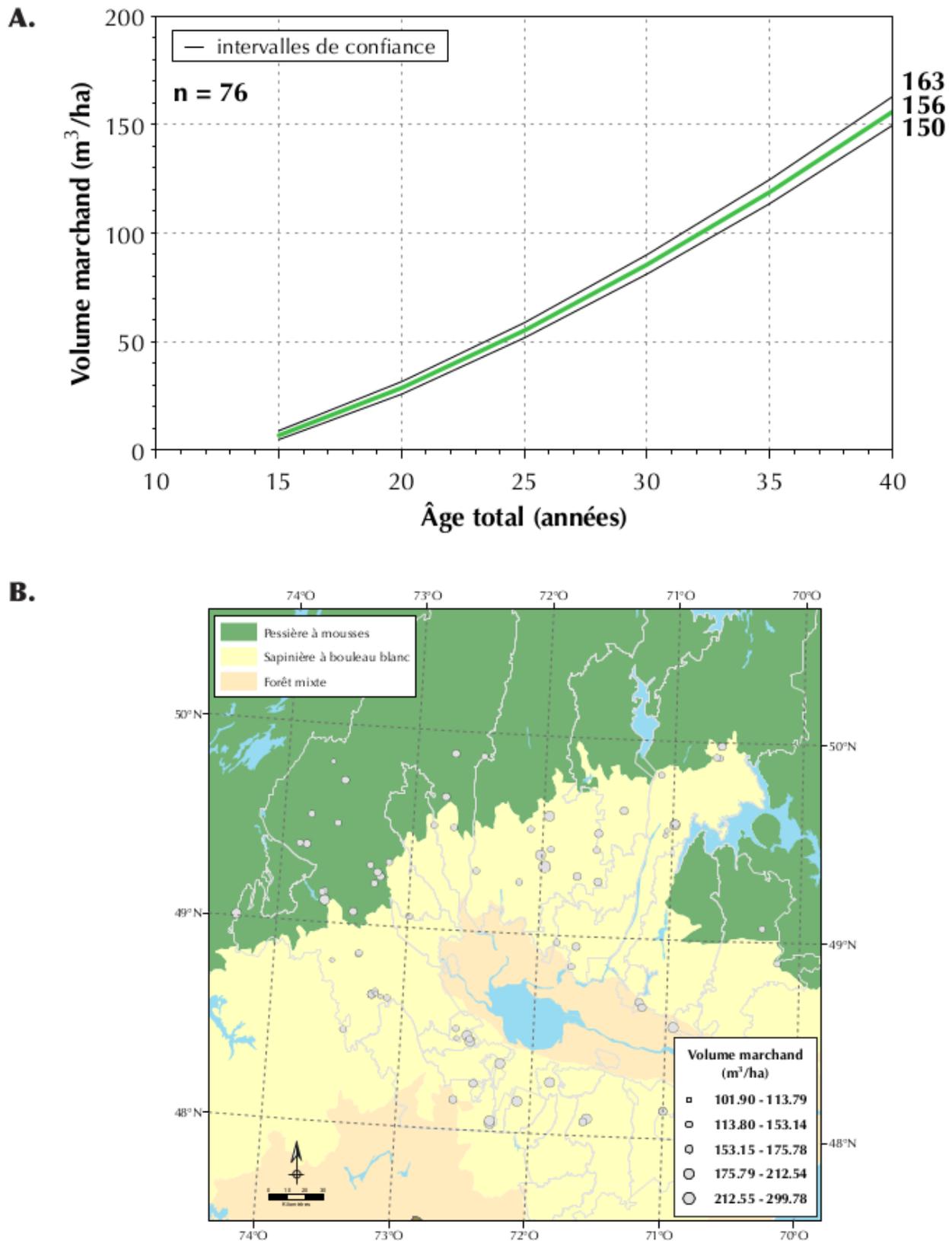


Figure 25 - Volume marchand des plantations de pin gris (A) représenté dans le territoire d'étude ($n = 76$) (B). La valeur à 40 ans correspond à $156 \text{ m}^3/\text{ha}$.

B. Territoire d'étude selon les domaines bioclimatiques

En discriminant selon cette subdivision, on remarque que les IQS moyens à 15 ans ne sont pas significativement ($p = 0.5616$) plus élevés dans la sapinière (4.93 ± 1.14) que dans la pessière (4.78 ± 0.63) (figure 26). Les valeurs de volume marchand à 40 ans sont égales à 157 et 153 m³/ha respectivement (tableau 14). L'accroissement annuel moyen est égal respectivement à 3.9 et 3.8 m³/ha/an.

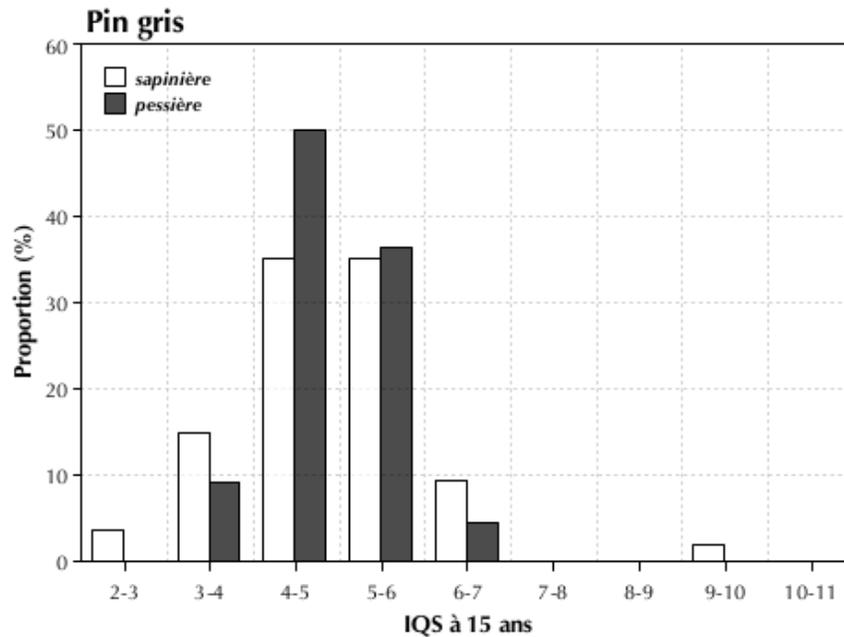


Figure 26 - Histogrammes (%) des classes d'IQS à 15 ans dans les parcelles de pin gris selon les domaines bioclimatiques

Tableau 14 - Valeurs moyennes d'IQS à 15 ans et valeurs de volume marchand à 40 ans d'après le modèle de Bolghari et Bertrand (1984) en fonction des domaines bioclimatiques et des meilleures parcelles de pin gris

Domaine bioclimatique	Tous				Groupe supérieur (66%)			Groupe supérieur (33%)		
	n	IQS15	Vm40	Acc_an	n	IQS15	Vm40	n	IQS15	Vm40
Sapinière	54	4.93	157.33	3.9	36	5.50	173.72	18	6.09	191.45
Pessière	22	4.78	153.14	3.8	15	5.07	161.28	7	5.49	173.42

IQS15 : indice de qualité de station à 15 ans; Vm60 : m³/ha; Acc_an : m³/ha/an;

Les plantations de pin gris produisent beaucoup de volume marchand que l'épinette noire peu importe l'emplacement des parcelles sur le territoire (figure 27 et 28). Dans le domaine bioclimatique de la pessière, une plantation atteindra même 153 m³/ha à 40 ans.

Sapinière

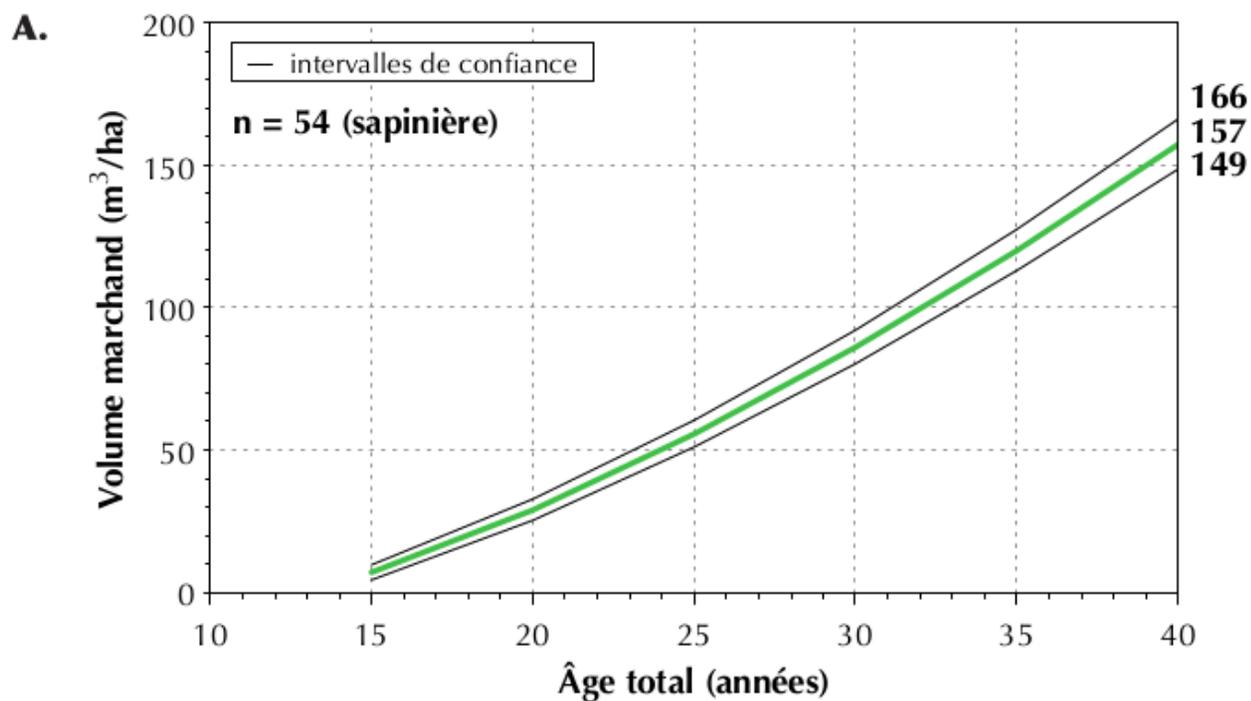
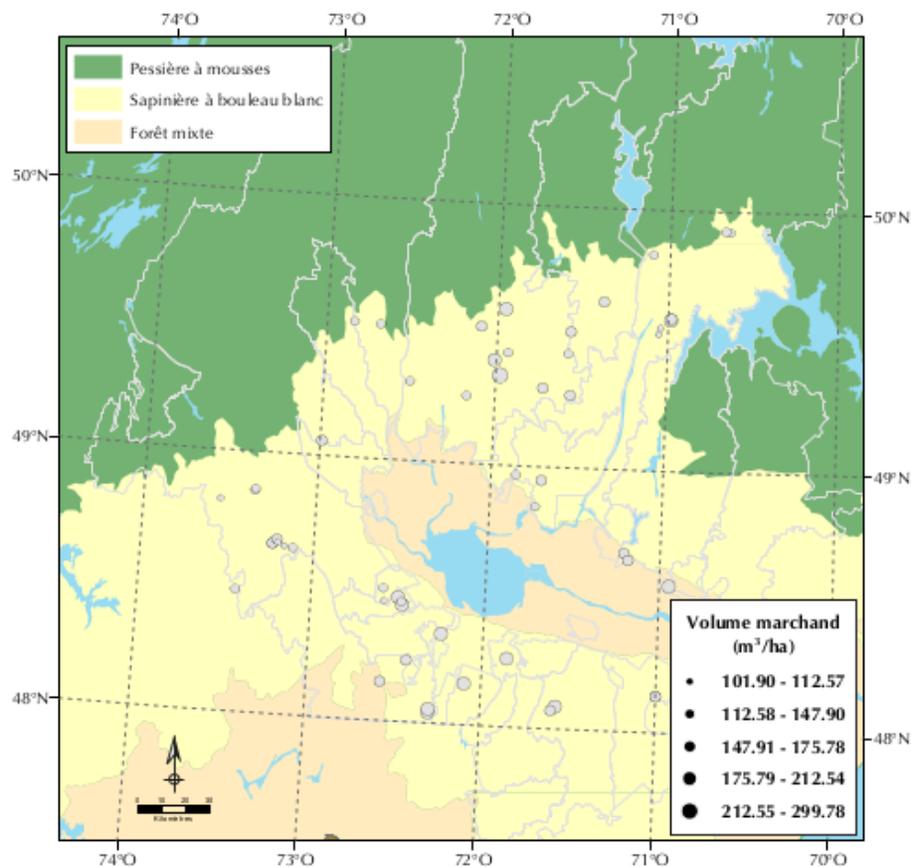
**B.**

Figure 27- Volume marchand des plantations de pin gris (A) représenté dans la sapinière (n = 54) (B). La valeur à 40 ans correspond à 157 m^3/ha .

Pessière

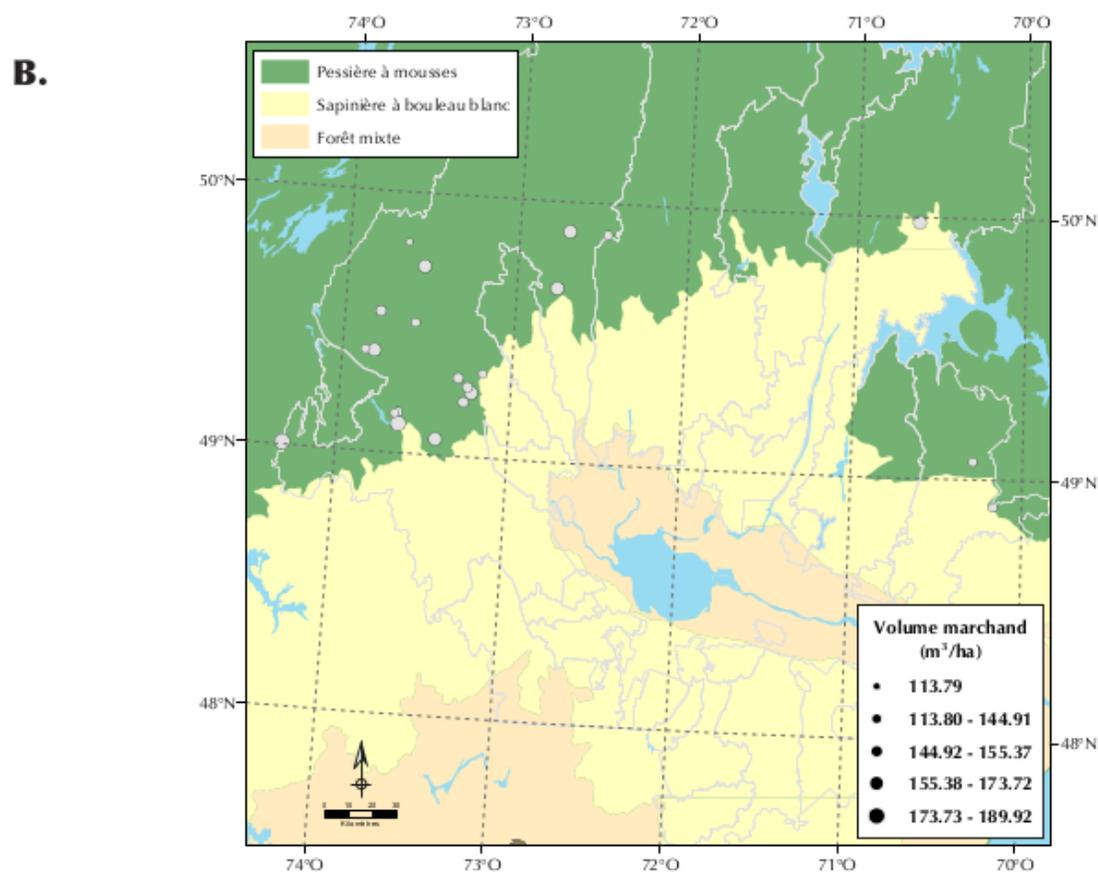
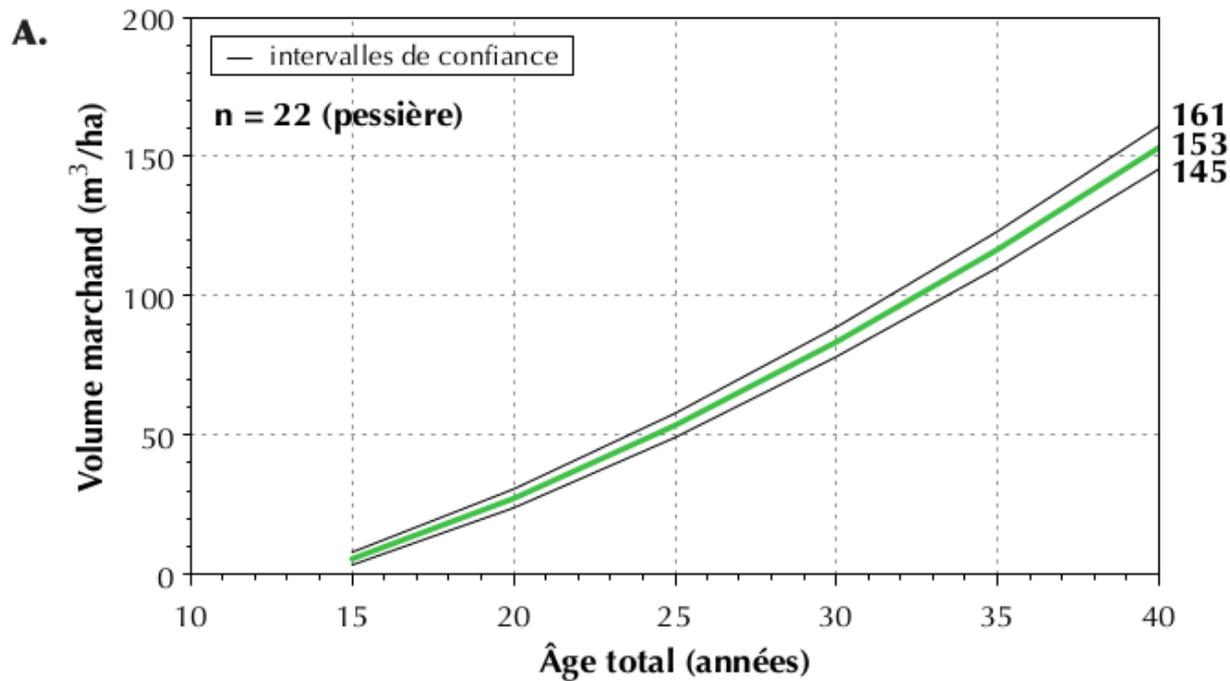


Figure 28 - Volume marchand des plantations de pin gris (A) représenté dans la pessière (n = 22) (B). La valeur à 40 ans correspond à 153 m^3/ha .

C. Territoire d'étude selon les types écologiques

Un nombre de 66 parcelles de pin gris est localisé dans ce groupe. Elles se classent à 28 et 38 reprises dans les types écologiques RS2 et RE2. Dix parcelles ont été exclues dans les types MS1 (3), MS2 (4), RE1 (2) et RE3 (1). Les IQS à 15 ans ne sont pas significativement différents entre les RS2 à 4.86 et les RE2 à 4.81 (tableau 15). Ces valeurs d'IQS se traduisent par des volumes marchands à 40 ans de 155 et 154 m³/ha respectivement.

Tableau 15 - Valeurs moyennes d'IQS à 15 ans et valeurs de volume marchand à 40 ans d'après le modèle de Bolghari et Bertrand (1984) en fonction des types écologiques et des meilleures parcelles de pin gris dans le territoire d'étude, la sapinière et la pessière

Type écologique	Tous				Groupe supérieur (66%)			Groupe supérieur (33%)		
	n	IQS15	Vm40	Acc_an	n	IQS15	Vm40	n	IQS15	Vm40
<i>Territoire d'étude</i>										
RS2	28	4.86	155.37	3.9	18	5.42	171.37	9	5.99	188.39
RE2	38	4.81	153.97	3.8	25	5.25	166.44	13	5.76	181.43
<i>Sapinière</i>										
RS2	22	4.82	154.25	3.9	15	5.40	170.79	7	6.12	192.37
RE2	24	4.89	156.20	3.9	16	5.40	170.79	8	5.96	187.47
<i>Pessière</i>										
RS2	6	5.00	159.30	4.0	4	5.25	166.44	2	5.53	174.60
RE2	14	4.66	149.82	3.7	9	4.99	159.02	5	5.37	169.91

IQS15 : indice de qualité de station à 15 ans; Vm60 : m³/ha; Acc_an : m³/ha/an;

Les 46 parcelles de pin gris dans la sapinière se classent à 22 et 24 reprises dans les types écologiques RS2 et RE2. Les valeurs d'IQS à 15 ans ne sont pas significativement différentes à 4.82 pour les RS2 et à 4.89 pour les RE2 (tableau 15). Ces valeurs d'IQS se traduisent par des volumes marchands à 40 ans de 154 et 156 m³/ha respectivement.

Dans la pessière, 20 parcelles de pin gris se classent à 6 et 14 reprises dans les types écologiques RS2 et RE2. Aucune différence significative entre l'IQS à 15 ans des RS2 (5.00) et des RE2 (4.66) (tableau 15). Ces valeurs d'IQS se traduisent par des volumes marchands à 40 ans de 159 et 150 m³/ha respectivement. L'IQS moyen plus élevé chez le type écologique RS2 en pessière pourrait être attribuable au faible effectif.

D. Territoire d'étude selon les regroupements d'UA

En combinant la sapinière et la pessière au Lac-Saint-Jean (LSJ_sp), on obtient un nombre de 64 parcelles de pin gris. La valeur moyenne de l'IQS est égale à 4.81. Le volume marchand extrapolé à 60 ans correspond à une valeur de 154 m³/ha (tableau 16). Dans la sapinière (n=45) et la pessière (n=19) individuellement, on obtient respectivement des valeurs d'IQS non significativement différentes de 4.83 et 4.75 et des valeurs de volume marchand à 60 ans de 155 et 152 m³/ha.

Les 8 parcelles de pin gris dans la sapinière au Saguenay ont produit un IQS moyen à 15 ans de 5.58 ce qui se traduit par un volume marchand à 40 ans de 176 m³/ha.

Tableau 16 - Valeurs moyennes d'IQS à 15 ans et valeurs de volume marchand à 40 ans d'après le modèle de Bolghari et Bertrand (1984) en fonction des regroupements d'unités d'aménagement (UA) et des meilleures parcelles de pin gris au Lac-Saint-Jean et au Saguenay

Regroupements d'UA	Tous				Groupe supérieur (66%)			Groupe supérieur (33%)		
	n	IQS15	Vm40	Acc_an	n	IQS15	Vm40	n	IQS15	Vm40
<i>Lac-Saint-Jean</i>										
LSJ_sp	64	4.81	153.97	3.8	42	5.32	168.46	21	5.90	185.65
LSJ_s	45	4.83	154.53	3.9	30	5.41	171.08	15	6.10	191.76
LSJ_p	19	4.75	152.30	3.8	13	5.04	160.43	6	5.40	170.79
<i>Saguenay</i>										
SAG_s	8	5.58	176.07	4.4	5	5.73	180.54	3	5.84	183.84

IQS15 : indice de qualité de station à 15 ans; Vm60 : m³/ha; Acc_an : m³/ha/an;

E. Territoire d'étude selon les regroupements d'UA et les types écologiques

Les 57 parcelles de pin gris dans la sapinière et la pessière au Lac-Saint-Jean se classent à 23 et 34 reprises dans les types écologiques RS2 et RE2. L'IQS moyen à 15 ans est égal à 4.79 pour les RS2 et à 4.74 pour les RE2 (tableau 17) ce qui représente des volumes marchands à 40 ans de 153 et 152 m³/ha respectivement. On observe très peu de différence entre les valeurs moyennes d'IQS obtenues entre la sapinière et la pessière au Lac-Saint-Jean. L'IQS du type écologique RS2 est comparable entre les deux zones (4.71 versus 5.00). Dans la sapinière au Saguenay, on retrouve seulement 6 parcelles dont les IQS moyens dans les deux types écologiques sont supérieurs à ceux obtenus au Lac-Saint-Jean.

Tableau 17 - Valeurs moyennes d'IQS à 15 ans et valeurs de volume marchand à 40 ans d'après le modèle de Bolghari et Bertrand (1984) selon les regroupements d'unités d'aménagement (UA), les types écologiques et les meilleures parcelles de pin gris au Lac-Saint-Jean et au Saguenay

Type écologique	Tous				Groupe supérieur (66%)			Groupe supérieur (33%)		
	n	IQS15	Vm40	Acc_an	n	IQS15	Vm40	n	IQS15	Vm40
Lac Saint-Jean										
<i>Sapinière et Pessière</i>										
RS2	23	4.79	153.41	3.8	15	5.33	168.75	8	5.87	184.75
RE2	34	4.74	152.03	3.8	22	5.20	165.00	11	5.72	180.24
<i>Sapinière</i>										
RS2	17	4.71	151.20	3.8	11	5.35	169.33	6	5.94	186.87
RE2	22	4.84	154.81	3.9	15	5.33	168.75	7	5.99	188.39
<i>Pessière</i>										
RS2	6	5.00	159.30	4.0	4	5.25	166.44	2	5.53	174.60
RE2	12	4.56	147.08	3.7	8	4.85	155.09	4	5.21	165.29
Saguenay										
<i>Sapinière</i>										
RS2	4	5.54	174.89	4.4	3	5.63	177.56	1	5.98	188.08
RE2	2	5.49	173.42	4.3	1	5.57	175.78	1	5.57	175.78

IQS15 : indice de qualité de station à 15 ans; Vm60 : m³/ha; Acc_an : m³/ha/an;

4. Tests de puissance

A. Territoire d'étude

Les valeurs d'IQS calculées dans les 76 plantations réparties dans la sapinière et la pessière présentent un patron de distribution normal (figure 29). Cet échantillonnage a permis de détecter une différence de ± 0.43 unité d'IQS dans 95 % du temps si 1.02 est le vrai écart-type de la population (tableau 18).

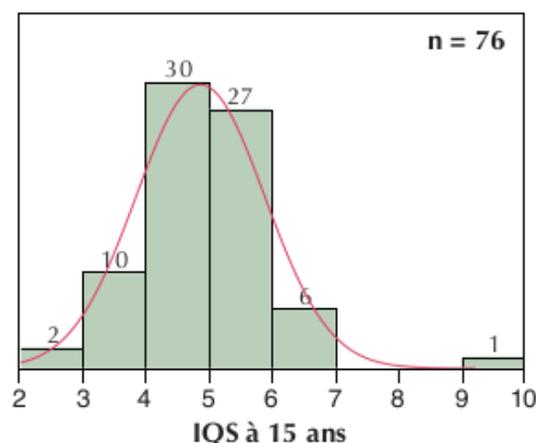


Figure 29 - Distribution des classes d'IQS à 15 ans des plantations de pin gris dans le territoire d'étude. La ligne rouge correspond à une courbe de distribution normale.

Tableau 18 - Résultats des tests de puissance pour le pin gris dans le territoire d'étude

	nombre de plantations	IQS écart-type	unité d'IQS détectée	unité d'IQS espérée	nombre requis	différence à combler
Pin gris						
<i>Territoire d'étude</i>	76	1.02	0.43	1	16	aucune

B. Territoire d'étude selon les domaines bioclimatiques

En considérant uniquement les parcelles caractérisant la sapinière, l'échantillonnage de 54 parcelles a permis de détecter un IQS moyen avec une précision de ± 0.57 unité d'IQS (tableau 19). Dans le domaine climatique de la pessière, l'échantillonnage de 22 parcelles a permis de détecter un IQS moyen avec une précision de ± 0.51 unité d'IQS (figure 30).

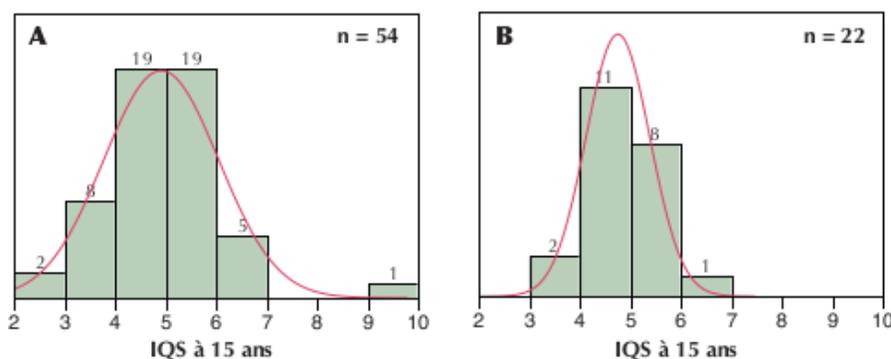


Figure 30 - Distribution des classes d'IQS à 15 ans des plantations de pin gris dans A. la sapinière et B. la pessière. La ligne rouge correspond à une courbe de distribution normale.

Tableau 19 - Résultats des tests de puissance pour le pin gris dans la sapinière et la pessière

	nombre de plantations	IQS écart-type	unité d'IQS détectée	unité d'IQS espérée	nombre requis	différence à combler
Pin gris						
<i>Pessière</i>	22	0,63	0,51	1	8	aucune
<i>Sapinière</i>	54	1,14	0,57	1	19	aucune

C. Territoire d'étude selon les regroupements d'UA

Lac-Saint-Jean

Les valeurs d'IQS calculées dans les 64 plantations réparties dans la sapinière et la pessière au Lac-Saint-Jean suivent une distribution normale (figure 31).

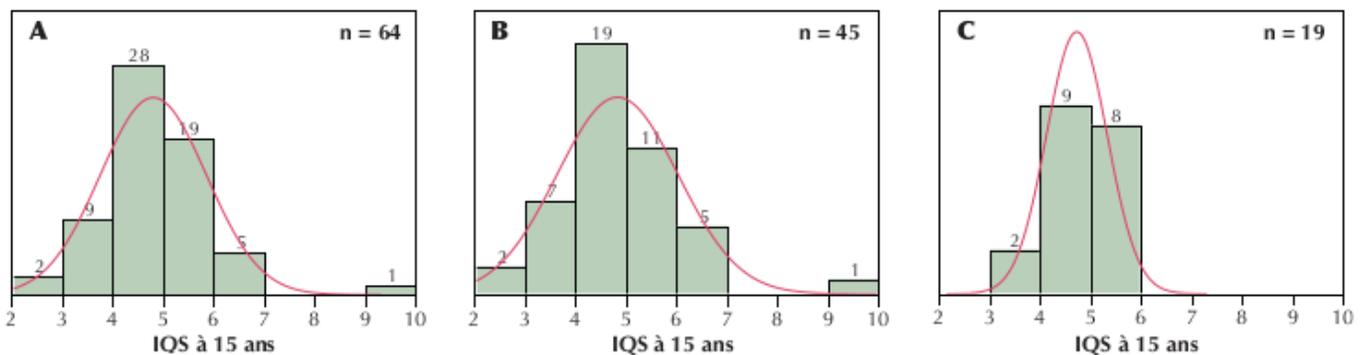


Figure 31 - Distribution des classes d'IQS à 15 ans des plantations de pin gris au Lac-Saint-Jean; A. sapinière et pessière combinées; B. dans la sapinière; C. dans la pessière. La ligne rouge correspond à une courbe de distribution normale.

Le regroupement des parcelles dans la sapinière et la pessière au Lac-Saint-Jean ($n = 64$) a permis de détecter une différence de ± 0.48 unité d'IQS dans 95 % du temps si 1.05 est le vrai écart-type de la population (tableau 20). En considérant la sapinière ($n = 45$) et la pessière ($n = 19$) séparément, nous obtenons également une précision supérieure à 1 unité d'IQS avec 0.66 et 0.53 respectivement.

Tableau 20 - Résultats des tests de puissance pour le pin gris dans la sapinière (LSJ_s), la pessière (LSJ_p) et les deux combinées (LSJ_sp) au Lac-Saint-Jean

	nombre de plantations	IQS écart-type	unité d'IQS détectée	unité d'IQS espérée	nombre requis	différence à combler
Pin gris						
<i>Lac-Saint-Jean</i>						
<i>LSJ_sp</i>	64	1.05	0.48	1	17	aucune
<i>LSJ_s</i>	45	1.20	0.66	1	21	aucune
<i>LSJ_p</i>	19	0.60	0.53	1	7	aucune

Saguenay

Les valeurs d'IQS calculées dans les 8 plantations réparties dans la sapinière au Saguenay suivent une distribution normale (figure 32).

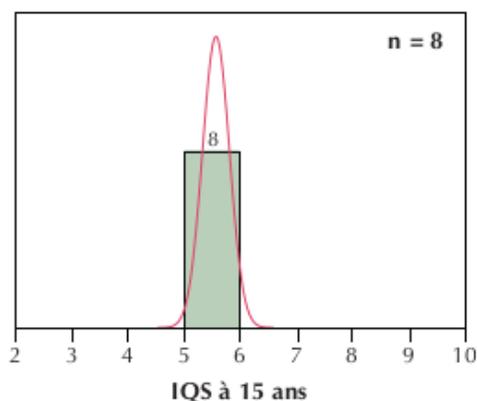


Figure 32 - Distribution des classes d'IQS à 15 ans des plantations de pin gris au Saguenay; A. dans la sapinière. La ligne rouge correspond à une courbe de distribution normale.

Les parcelles échantillonnées dans la sapinière au Saguenay ($n = 8$) ont permis de détecter une différence de ± 0.36 unité d'IQS dans 95 % du temps si 0.24 est le vrai écart-type de la population (tableau 21).

Tableau 21 - Résultats des tests de puissance pour le pin gris dans la sapinière (SAG_s) au Saguenay

	nombre de plantations	IQS écart-type	unité d'IQS détectée	unité d'IQS espérée	nombre requis	différence à combler
Épinette noire						
<i>Saguenay</i>						
SAG_s	8	0.24	0.36	1	4	aucune

Discussion

Épinette noire

Dans cette étude, la prédiction du volume marchand est une extrapolation du modèle de Prigent, Bertrand et Charette (1996). Comme le mentionnent les auteurs, les valeurs extrapolées constituent des repères approximatifs qui ne pourront être confirmés ou précisés qu'avec l'échantillonnage de plantations plus âgées. En conséquence, ces valeurs doivent être utilisées avec prudence.

Le volume marchand prédit à 60 ans pour les 186 plantations d'épinette noire est égal à 175 m³/ha (3 m³/ha/an; IQS moyen à 25 ans de 6.11) (tableau 3). Les valeurs moyennes de volume marchand des plantations qui présentaient un faible rendement, ne reflètent probablement pas le potentiel des plantations d'épinette noire. Celles-ci n'ont peut-être pas fait l'objet d'une préparation de terrain adéquate, ou d'un entretien adapté aux particularités du site ou bien la qualité des semis, lors de la mise en terre, n'était pas suffisante pour leur assurer une croissance optimale. Nous avons fait l'exercice d'extrapoler le volume marchand à 60 ans en excluant le tiers des plantations avec le plus faible rendement (33 % inférieur) ce qui équivaut à un volume de 207 m³/ha (tableau 3). Il est même possible d'envisager avec une préparation de terrain et des entretiens adéquats sur les meilleurs sites (aires d'intensification de production ligneuse, AIPL) des valeurs moyennes de volume marchand équivalentes à celles du premier tiers supérieur (33 %) à 235 m³/ha. L'élimination des plantations à faible rendement (le tiers inférieur) contribue à augmenter l'IQS d'une unité. Si on considère uniquement les meilleures plantations, l'écart est de deux unités d'IQS.

Dans le domaine bioclimatique de la sapinière, chez l'épinette noire, le volume marchand prédit à 60 ans s'élève à 186 m³/ha (3.1 m³/ha/an; IQS à 25 ans de 6.42) (tableau 4). Si l'on procède, encore ici, à une analyse des meilleurs rendements (66 % et 33 % supérieur), nous obtenons des valeurs respectives de volume de 216 (3.6 m³/ha/an) et 242 m³/ha (4.0 m³/ha/an).

Le rendement dans le domaine bioclimatique de la pessière a été significativement inférieur à la sapinière avec un volume marchand prédit à 60 ans de 147 m³/ha (IQS de 5.35) (tableau 4). Cependant, l'examen des meilleures plantations révèle tout de même un IQS de 6.84 et un volume marchand de 200 m³/ha. Nous constatons que, même dans la pessière, les plantations d'épinette noire sont potentiellement intéressantes pour la production ligneuse.

La classification par type écologique est depuis plusieurs années en vigueur pour prédire le potentiel de croissance des arbres (Saucier *et al.* 1998). Les résultats de notre analyse démontrent que les IQS à 25 ans et les volumes marchands à 60 ans, obtenus dans les types écologiques « MS », sont significativement plus élevés que ceux chez les types « RS2 et RE2 » (tableau 5). L'indice de qualité de station est proche de 9 si on retient uniquement les 8 meilleures plantations du type écologique « MS ». Dans les « RE2 », l'IQS est le plus faible à 5.21. La valeur est encore moins élevée dans la pessière (IQS=5).

Il est quand même possible d'obtenir de plus hauts IQS (6.49) en considérant les meilleures plantations (le tiers supérieur) dans le type écologique « RE2 ». En résumé, les IQS et les volumes marchands anticipés sont plus élevés dans le type écologique « MS » et plus faibles dans les « RE2 ».

Les résultats obtenus dans cette étude font ressortir le potentiel de rendement des plantations d'épinette noire en forêt boréale. Cependant, la grande variabilité dans les valeurs d'IQS, de même que dans celles de volume marchand prédit, suscite des interrogations. Quelles sont les variables qui peuvent expliquer cette variabilité ?

Plusieurs informations de caractérisation, telles que les traitements sylvicoles avant et après plantation, la nature des dépôts de surface et les types écologiques, entre autres, peuvent être analysés plus en profondeur afin de répondre aux interrogations.

Ces paramètres peuvent aiguillonner les futurs échantillonnages dans l'optique de rehausser notre compréhension dans la sélection de sites productifs pour la plantation. Il faut aussi prendre en considération que, dans plusieurs plantations, le nombre de tiges régénérées naturellement est très élevé ce qui peut influencer positivement le rendement véritable. Ces individus ne sont pas inclus dans la densité du peuplement de même que dans les calculs de rendement. Il appert que la prise de mesures supplémentaires chez les arbres naturels pourrait bonifier le portrait global du rendement de l'épinette noire en forêt boréale.

Pin gris

En ce qui concerne cette espèce, 76 plantations ont été évaluées avec un IQS moyen à 15 ans de 4.88 (tableau 13). Il y a très peu de variations entre les domaines bioclimatiques (sapinière et pessière) de même qu'entre les types écologiques (RS2 et RE2) (tableau 14). Lorsque l'on examine les meilleures plantations (le tiers (33 %) et les deux tiers (66 %) supérieur), le volume marchand augmente, mais la différence en moyenne est moins prononcée que chez l'épinette noire. À titre d'exemple, l'IQS moyen à 15 ans des 76 parcelles de pin gris est égal à 4.88 comparativement à 5.93 pour le tiers supérieur. Il s'agit d'un gain légèrement supérieur à une unité d'IQS. Le même type d'exercice chez l'épinette noire permet d'obtenir un écart de 1.89 entre les 186 plantations (6.11) et le tiers des meilleures parcelles (8.00).

Le pin gris est reconnu pour être une espèce pionnière (Viereck et Johnson 1990) qui supporte peu de compétition après la germination des graines. Considérant l'espacement régulier appliqué lors de la mise en terre des plants, chaque individu est à même d'exprimer son potentiel de croissance. La phase juvénile de développement de cette espèce est caractérisée par une forte croissance en hauteur qui peut perdurer plusieurs années (Viereck et Johnson 1990). Lors de cette phase, les paramètres environnementaux ont moins d'importance sur le taux de croissance. Ce constat pourrait être une hypothèse pour expliquer l'absence de différences significatives entre la sapinière et la pessière, de même qu'entre les RS2 et RE2 pour le pin gris.

D'un autre côté, l'épinette noire est une espèce bien adaptée à survivre sous couvert (Viereck et Johnson 1990). Sa stratégie d'installation après germination est caractérisée par un développement intensif du système racinaire avant d'investir en diamètre et dans les parties aériennes (Krause *et al.* 2008, 2013). Il est fréquent d'observer, après les 10 premières années en plantation, une faible productivité chez cette espèce (Krause *et al.* 2008, 2013). En supposant que le développement du système racinaire au cours des premières années dépend directement des facteurs environnementaux (température du sol, de l'aire), ceci pourrait expliquer le meilleur rendement en sapinière. La plus grande compétition entre les racines des épinettes noires et des éricacées représente également un facteur qui pourrait expliquer le plus faible rendement dans les types écologiques « RE2 » comparativement aux « RS2 et MS » (Hébert *et al.* 2010). Il serait intéressant d'analyser le système racinaire de ces deux espèces pour confirmer ou non cet hypothèse.

Conclusion

Épinette noire

Le rendement extrapolé à 60 ans correspond en volume marchand :

- à 186 m³/ha (3.1 m³/ha/an) dans le domaine bioclimatique de la sapinière et de 147 m³/ha (2.4 m³/ha/an) dans celui de la pessière;
- à 207 m³/ha (3.5 m³/ha/an) dans les plantations réussies (66 % supérieur);
- à 235 m³/ha (3.9 m³/ha/an) dans les meilleurs sites (33 % supérieur);
- à 181 m³/ha (3.0 m³/ha/an) pour le type écologique RS2, à 141 m³/ha (2.3 m³/ha/an) pour le RE2 et à 237 m³/ha (4.0 m³/ha/an) pour le MS dans le territoire d'étude;

Pin gris

Le rendement à 40 ans correspond en volume marchand :

- à 157 m³/ha (3.9 m³/ha/an) dans le domaine bioclimatique de la sapinière et de 153 m³/ha (3.8 m³/ha/an) dans celui de la pessière;
- à 171 m³/ha (4.3 m³/ha/an) dans les plantations réussies (66 % supérieur);
- à 187 m³/ha (4.8 m³/ha/an) dans les meilleurs sites (33 % supérieur);
- à 155 m³/ha (3.9 m³/ha/an) pour le type écologique RS2 et à 154 m³/ha (3.8 m³/ha/an) pour le RE2 dans le territoire d'étude;

Bibliographie

Béland, M., Bergeron, Y. et Zamovican, R. 2003. Harvest treatment, scarification and competing vegetation affect jack pine establishment on three soil types of the boreal mixed wood of northwestern Quebec. *Forest Ecology and Management*, 174: 477-493.

Bolghari, H. A. et Bertrand, V. 1984. Tables préliminaires de production des principales essences résineuses plantées dans la partie centrale du sud du Québec. Mémoire de recherche forestière n° 79. Ministère de l'énergie et des ressources, Service de la recherche.

Forslund, R. R. et Paterson, J. M. 1994. Non-destructive volume estimates of 11-year old Jack pine and black spruce using the power function volume model. *Forestry Chronicle*, 70(6): 762-767.

Greene, D.F., Zasada, J.C., Sirois, L., Kneeshaw, D., Morin, H., Charron, I. et Simard, M.J. 1999. A review of the regeneration dynamics of North American boreal forest tree species. *Canadian Journal of Forest Research*, 29(6): 824-839.

Hébert, F., Thiffault, N., Ruel, J.C. et Munson, A.D. 2010. Comparative physiological responses of *Rhododendron groenlandicum* and regenerating *Picea mariana* following partial canopy removal in northeastern Québec, Canada. *Canadian Journal of Forest Research* 40: 1791-1802.

Heinselman, M. L. 1981. Fire and succession in the conifer forests of northern North America. *In: Forest succession, concepts and application*. D.C. West, H.H. Shugart et D.B. Botkin (éditeurs). Springer-Verlag. 517 p.

Krause, C., Morin, H. et Plourde, P.Y. 2009. Juvenile growth of black spruce (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) stands established during endemic and epidemic attacks by spruce budworm (*Choristoneura fumiferana* (Clem.)) in the boreal forest of Quebec, Canada. *Forestry Chronicle*, 85(2): 267-276.

Krause, C., Dery-Bouchard, C-A., Plourde, P.Y. et Mailly, D. 2013. Compression wood and stem horizontal displacement in black spruce and Jack pine plantations in the boreal forest. *Forest Ecology and Management* 302: 154-162.

Lussier, J.M., Morin, H. et Gagnon, R. 2002. Évolution de la structure diamétrale et production ligneuse des pessières noires issues de feu. *Canadian Journal of Forest Research* 32(3): 526-538.

McCarthy, J. 2001. Gap dynamics of forest trees: a review with particular attention to boreal forests. *Environmental Reviews* 9(1): 1-59.

Morin, H. et Laprise, D. 1990. Histoire récente de la Tordeuse des bourgeons de l'épinette au nord du lac Saint-Jean (Québec) : une analyse dendrochronologique. *Canadian Journal of Forest Research*, 20: 1-8.

Ordre des ingénieurs forestiers du Québec (OIFQ) 2009. Manuel de foresterie. Éditions Multi-mondes.

Parent, B. 1994. Ressource et industrie forestières. Portrait statistique Édition 1994. Ministère des ressources naturelles du Québec. 117 p.

Payette, S. et Delwaide, A. 2003. Shift of conifer boreal forests to lichen-heath parkland caused by successive stand disturbances. *Ecosystems* 6(6): 540-550.

Prégent, G., Bertrand, V. et Charette, L. 1996. Tables préliminaires de rendement pour les plantations d'Épinette noire au Québec. Mémoire de recherche forestière n° 118. Ministère des ressources naturelles, de la faune et des parcs. Direction de la recherche forestière.

Prégent, G. et Végiard, S. 2000. Rendement anticipé des plantations d'épinette noire dans les domaines écologiques de la pessière noire. Mémoire de recherche forestière n° 109. Ministère des ressources naturelles, de la faune et des parcs. Direction de la recherche forestière.

Prégent, G. et Poliquin, R. 2006. Bilan du second mesurage de la mesure des effets réels des plantations d'épinette blanche, d'épinette noire, d'épinette de Norvège, d'épinette rouge, de mélèze laricin et de pin gris. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Rapport interne No 491. 54 p.

Prégent, G., Picher, G. et Auger, I. 2010. Tarif de cubage, tables de rendement et modèles de croissance pour les plantations d'épinette blanche au Québec. Mémoire de recherche forestière n° 160. Direction de la recherche forestière. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune. 75 p.

Rossi, S., Deslauriers, A., Gricar, J., Seo, J.W., Rathgeber, C.B.K., Anfodillo, T., Morin, H., Levanic, T., Oven, P. et Jalkanen, R. 2008. Critical temperatures for xylogenesis in conifers of cold climates. *Global Ecology and Biogeography*, 17(6): 696-707.

SAS Institute Inc. 2013. JMP® 11 Modeling and Multivariate Methods. Cary, NC: SAS Institute Inc.

Saucier, J.P., Bergeron, J.F., Grondin, P. et Robitaille, A. 1998. Les régions écologiques du Québec méridional (3^e version) : un des éléments du système hiérarchique de classification écologique du territoire mis au point par le ministère des Ressources naturelles du Québec. Supplément de *l'Aubelle*, n° 124, 12 p.

Sirois, L. et Payette, S. 1989. Postfire black spruce establishment in subarctic and boreal Quebec. *Canadian Journal of Forest Research* 19: 1571-1580.

Viereck, L.A. et Johnston, F. 1990. *Picea mariana* (Mill.) B.S.P. Black spruce. In *Silvics of North America*, Volume 1, Conifers, p. 227-237. Agriculture Handbook 654, Forest Service, United States Department of Agriculture, Washington, D.C. 675 p.

Annexe I - Tests de puissance

Épinette noire

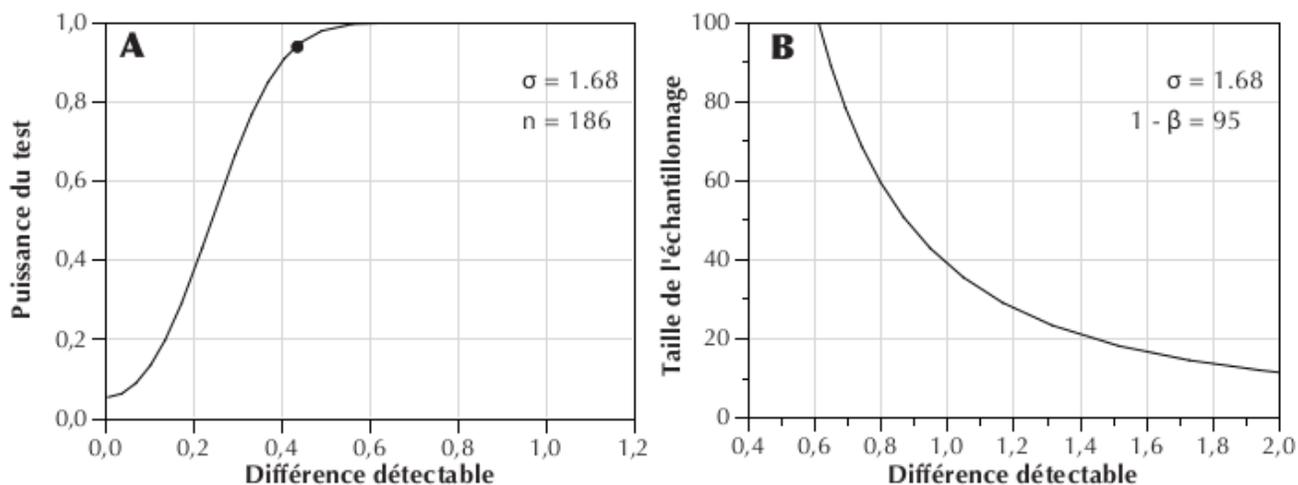


Figure 33 - A. Puissance du test selon la différence détectable d'IQS à 25 ans chez les plantations d'épinette noire dans le territoire d'étude; B. Taille de l'échantillon en fonction de la différence détectable à 95 %.

Épinette noire - Sapinière

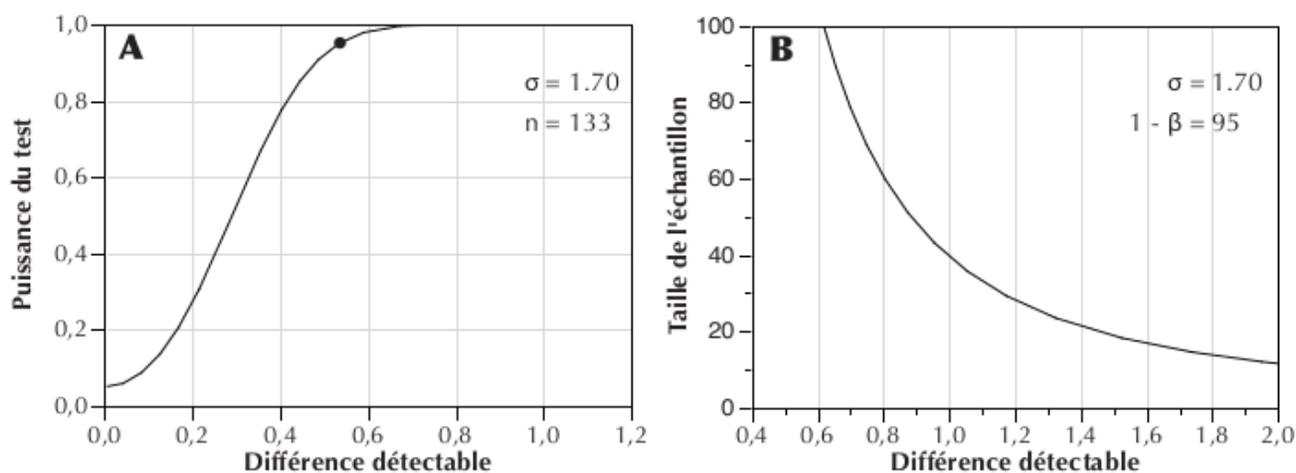


Figure 34 - A. Puissance du test selon la différence détectable d'IQS à 25 ans chez les plantations d'épinette noire dans la sapinière; B. Taille de l'échantillon en fonction de la différence détectable à 95 %.

Épinette noire - Pessière

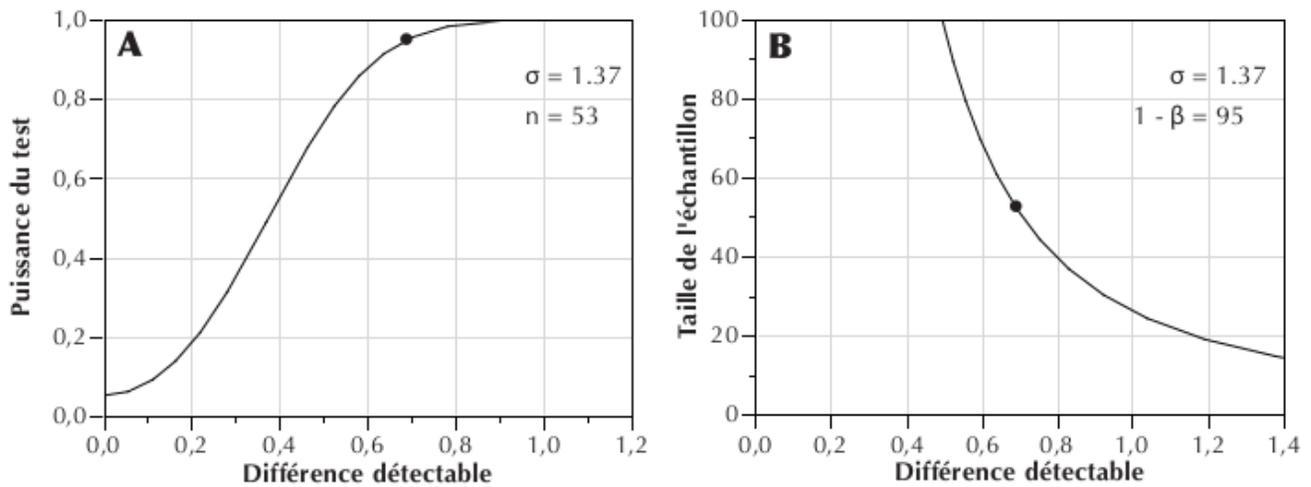


Figure 35 - A. Puissance du test selon la différence détectable d'IQS à 25 ans chez les plantations d'épinette noire dans la pessière ; B. Taille de l'échantillon en fonction de la différence détectable à 95 %.

Pin gris

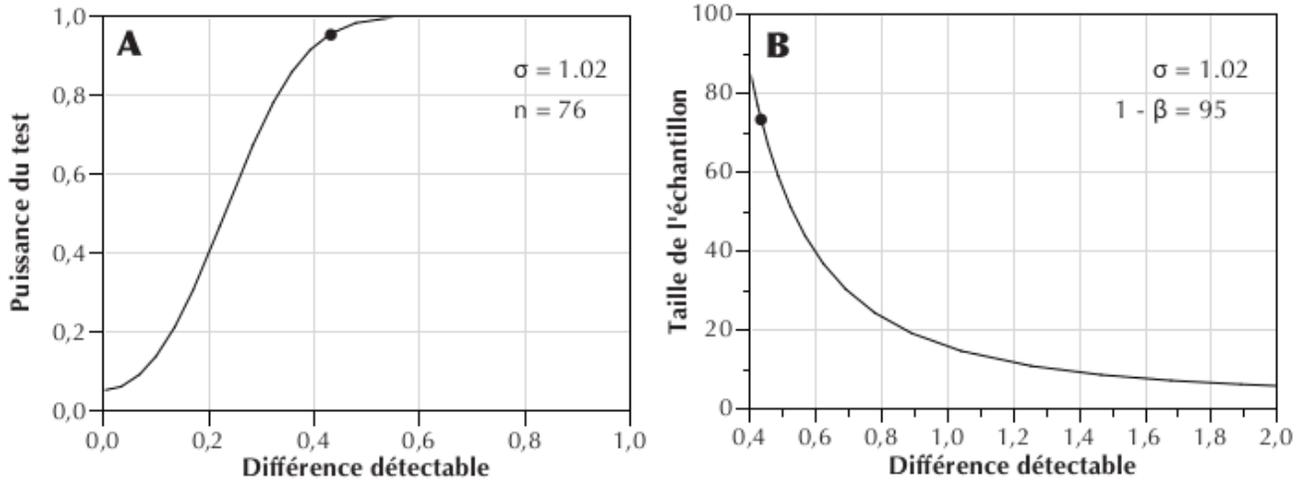


Figure 36 - A. Puissance du test selon la différence détectable d'IQS à 15 ans chez les plantations de pin gris dans le territoire d'étude; B. Taille de l'échantillon en fonction de la différence détectable à 95 %.

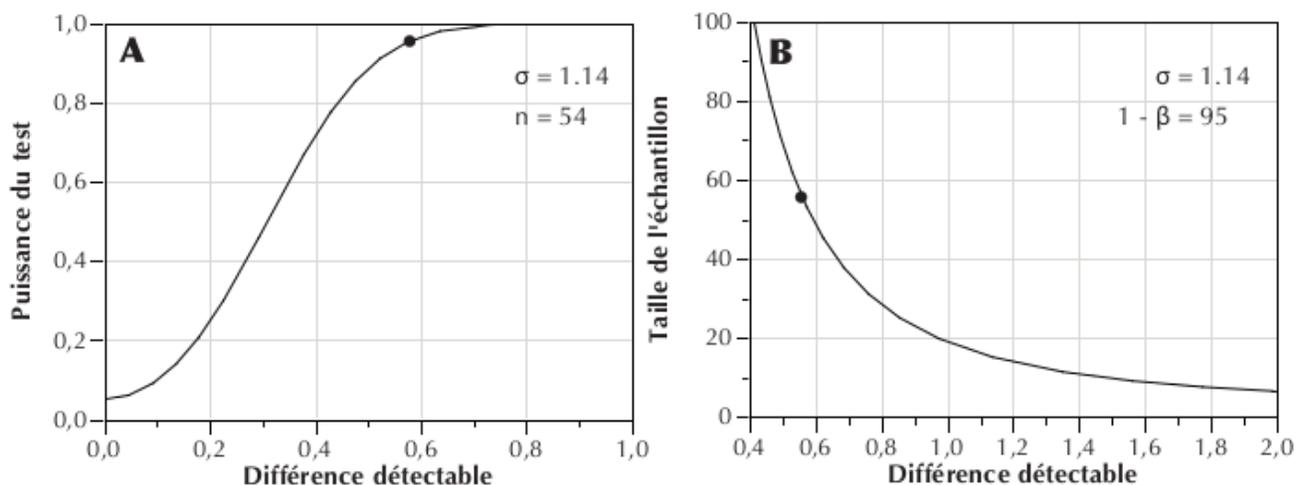
Pin gris - Sapinière

Figure 37 - A. Puissance du test selon la différence détectable d'IQS à 15 ans chez les plantations de pin gris dans la sapinière; B. Taille de l'échantillon en fonction de la différence détectable à 95 %.

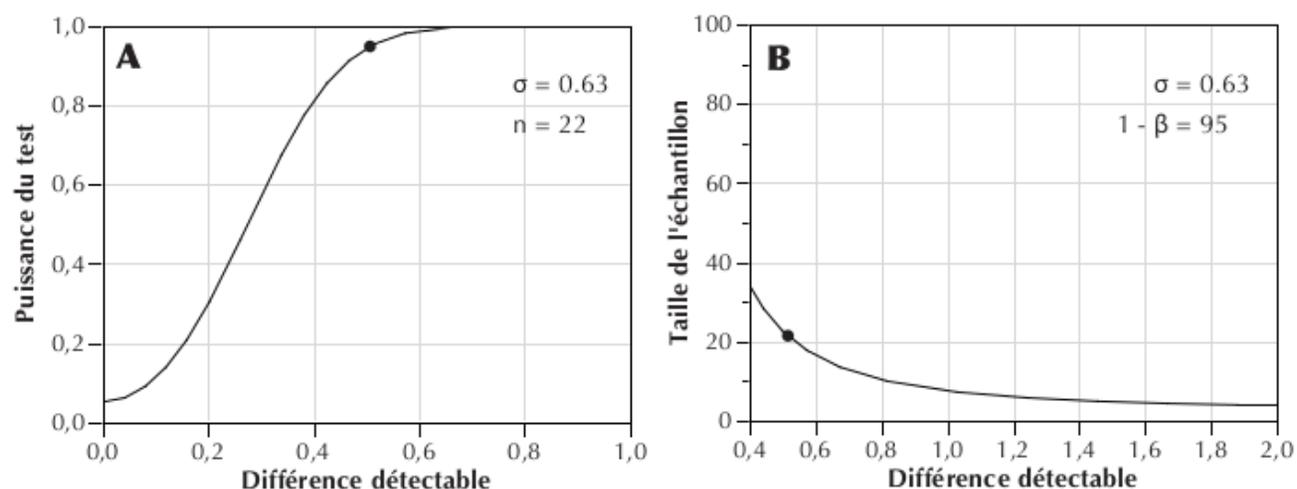
Pin gris - Pessière

Figure 38 - A. Puissance du test selon la différence détectable d'IQS à 15 ans chez les plantations de pin gris dans la pessière; B. Taille de l'échantillon en fonction de la différence détectable à 95 %.

Annexe II - Analyses statistiques

Selon le domaine bioclimatique

<i>Sapinière et Pessière</i>	Épinette noire				Pin gris			
	IQS25				IQS15			
Modèle	DI	SC	Rapport F	Prob. > F	DI	SC	Rapport F	Prob. > F
Domaine bioclimatique	1	43.20	16.61	<.0001	1	0.36	0.34	0.5616

DI : degrés de liberté; SC : sommes des carrés;

Selon le type écologique

<i>Territoire d'étude</i>	Épinette noire				Pin gris			
	IQS25				IQS15			
Modèle	DI	SC	Rapport F	Prob. > F	DI	SC	Rapport F	Prob. > F
Type écologique	2	46.51	12.03	<.0001	1	0.05	0.04	0.8358

<i>Sapinière</i>	Épinette noire				Pin gris			
	IQS25				IQS15			
Modèle	DI	SC	Rapport F	Prob. > F	DI	SC	Rapport F	Prob. > F
Type écologique	2	117.56	29.53	<.0001	1	0.06	0.04	0.8408

<i>Pessière</i>	Épinette noire				Pin gris			
	IQS25				IQS15			
Modèle	DI	SC	Rapport F	Prob. > F	DI	SC	Rapport F	Prob. > F
Type écologique	2	3.35	1.88	0.1766	1	0.47	1.18	0.2912

DI : degrés de liberté; SC : sommes des carrés;

Selon les regroupements d'UA - Lac-Saint-Jean

	Épinette noire				Pin gris			
	IQS25				IQS15			
Modèle	DI	SC	Rapport F	Prob. > F	DI	SC	Rapport F	Prob. > F
Regroupements d'UA	1	26.99	10.22	0.0017	1	0.10	0.09	0.7660

DI : degrés de liberté; SC : sommes des carrés;

Selon les regroupements d'UA et les types écologiques - Lac-Saint-Jean

	Épinette noire				Pin gris			
	IQS25				IQS15			
	DI	SC	Rapport F	Prob. > F	DI	SC	Rapport F	Prob. > F
<i>Sapinière et Pessière</i>								
modèle	3	59.97	9.01	<.0001	3	0.99	0.29	0.8327
Type écologique	1	21.53	9.70	0.0023	1	0.27	0.24	0.6280
UA Lac-Saint-Jean	1	16.36	7.37	0.0076	1	0.00	0.00	0.9922
Interaction	1	7.45	3.36	0.0693	1	0.89	0.79	0.3795

DI : degrés de liberté; SC : sommes des carrés;

	Épinette noire				Pin gris			
	IQS25				IQS15			
	DI	SC	Rapport F	Prob. > F	DI	SC	Rapport F	Prob. > F
<i>Sapinière</i>								
Regroupements d'UA	2	64.63	12.42	<.0001	1	0.15	0.10	0.7499

DI : degrés de liberté; SC : sommes des carrés;

	Épinette noire				Pin gris			
	IQS25				IQS15			
	DI	SC	Rapport F	Prob. > F	DI	SC	Rapport F	Prob. > F
<i>Pessière</i>								
Type écologique	1	1.41	1.03	0.3148	1	0.76	2.37	0.1436

DI : degrés de liberté; SC : sommes des carrés;

Selon les regroupements d'UA et les types écologiques - Saguenay

	Épinette noire				Pin gris			
	IQS25				IQS15			
	DI	SC	Rapport F	Prob. > F	DI	SC	Rapport F	Prob. > F
Type écologique	2	20.81	18.10	<.0001	1	0.00	0.50	0.8310

DI : degrés de liberté; SC : sommes des carrés;