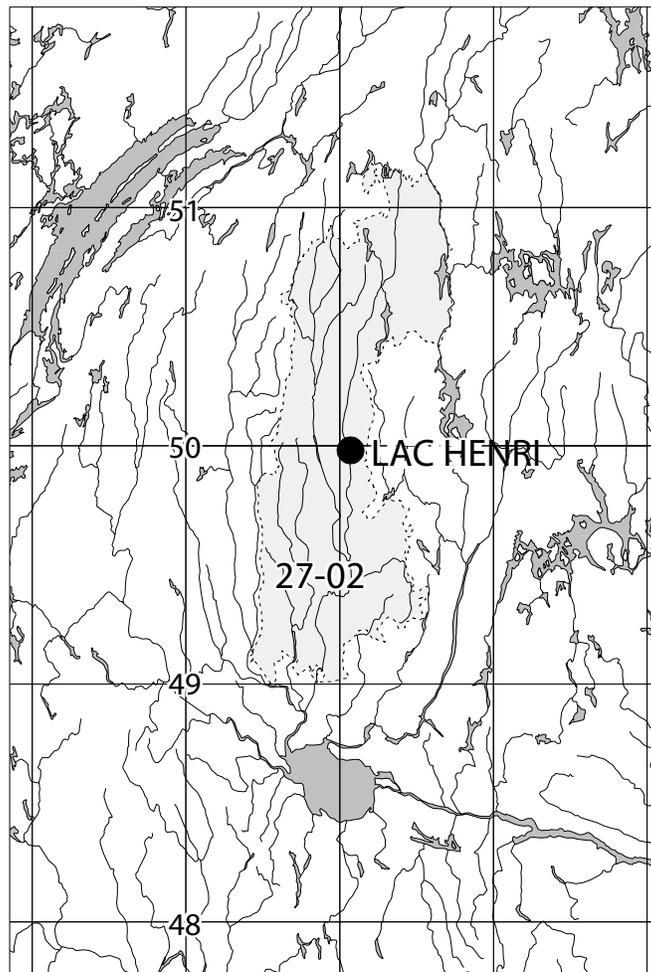


**CALCULS DE L'IQS ET DU VOLUME MARCHAND À 60 ANS
DE LA PLANTATION EXPÉRIMENTALE DU LAC HENRI :
COMPARAISONS ENTRE
LES PLANTS DE TRÈS PETITES DIMENSIONS
ET
CONVENTIONNELS**

Denis Walsh

Daniel Lord



AOÛT 2015

Ce document est disponible en format PDF sur le site **Constellation** à l'adresse suivante : <http://constellation.uqac.ca>
Constellation, le dépôt institutionnel de l'Université du Québec à Chicoutimi, est une archive numérique dédiée au rassemblement, à la diffusion et à la préservation de la production intellectuelle de l'ensemble de la communauté universitaire. **Constellation** offre aux chercheurs, auteurs et créateurs de l'UQAC un rayonnement et une diffusion sur l'ensemble du Web.

Le contenu de ce document peut être reproduit pourvu que la source soit mentionnée.

Pour obtenir une copie imprimée de ce document, adressez votre demande à :

Université du Québec à Chicoutimi

Département des Sciences fondamentales

a/s Daniel Lord

555, boulevard de l'Université

Chicoutimi, Québec, G7H 2B1

Tél : 418-545-5011, poste 5064; Télécopieur : 418-545-5012

courrier électronique : Daniel_Lord@uqac.ca

**CALCULS DE L'IQS ET DU VOLUME MARCHAND À 60 ANS
DE LA PLANTATION EXPÉRIMENTALE DU LAC HENRI :
COMPARAISONS ENTRE LES PLANTS DE TRÈS PETITES DIMENSIONS
ET CONVENTIONNELS**

Par :

Denis Walsh, M. Sc., professionnel de la recherche
Daniel Lord, Ph. D., professeur
Université du Québec à Chicoutimi
Département des Sciences fondamentales
555, boulevard Université
Chicoutimi, Québec. G7H 2B1

Collaborateur :

Jean-Pierre Girard,
Agent de recherche et de planification socioéconomique
Responsable régional de la production des semences et des plants
Direction des opérations intégrées du Saguenay - Lac-Saint-Jean
Ministère des Ressources naturelles et de la Faune

REMERCIEMENTS

Ce travail a été financé par le Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec, direction régionale du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Les auteurs sont redevables en premier lieu à M. Jean-Pierre Girard anciennement à l'emploi du MFFP (région 02) en tant qu'agent de recherche et de la planification socioéconomique et responsable régional de la production des semences et des plants. C'est M. Girard qui a eu l'idée initiale d'utiliser les récipients IPL-126-25 pour la production de semis d'épinette noire de type PTPD et dont la collaboration et son appui ont été indéfectibles tout au long du projet. Nous adressons aussi nos remerciements à Mme Audrey Murray, technicienne forestière au bureau régional du MFFP, qui a participé à la validation du protocole de mesure en 2014, ainsi qu'aux techniciens forestiers du MFFP, Dominic Paradis et Dany Saint-Gelais, qui ont fait les relevés dendrométriques à l'automne 2014.

RÉSUMÉ

Ce rapport final présente les résultats de la campagne de mesurage des parcelles expérimentales du lac Henri qui a eu lieu à l'automne 2014. Les plants d'épinette noire ont été mis en terre en 1998. L'objectif était d'estimer les IQS de chaque parcelle expérimentale formée de la combinaison de quatre types de récipient (126-15, 126-25, 67-50, 45-110) et de cinq dates de plantation (mai, juin, juillet, août, septembre). Les mesures de hauteur, de DHP et de volume des arbres dominants ne montrent pas de différences significatives entre les types de plants qui ont été reboisés ni entre les dates de plantation. Ces résultats signifient que le rendement en volume marchand d'une plantation de PTPD serait le même qu'une plantation avec des plants conventionnels.

Mots-clés : récipient, 126-15, 126-25, plant de très petites dimensions, PTPD, reboisement, épinette noire, Picea mariana, forêt boréale.

SUMMARY

This final report presents the results of the campaign for the measurement of the Lake Henri plantation, which took place in the fall of 2014. Black spruce seedlings have been planted in 1998. The objective is to estimate the SQI of each experimental plot formed by the combination of four types of container (126-15, 126-25, 67-50, 45-110) and five dates of planting (may, June, July, August, September). Measures height, DBH, and volume of dominant trees show no significant differences between the types of plants that were planted or between the dates of planting. These results indicate that the yield from the plantations carried out with mini-seedlings would be equivalent to a plantation with conventional plants.

Keywords : container, 126-15, 126-25, mini-seedling, plantation, black spruce, *Picea mariana*, boreal forest.

Table des matières

REMERCIEMENTS.....	iii
RÉSUMÉ.....	v
SUMMARY.....	vii
TABLE DES MATIÈRES.....	IX
INTRODUCTION.....	1
MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	2
<i>Production des plants reboisés.....</i>	2
<i>Localisation</i>	2
<i>Dispositif expérimental</i>	4
<i>Échantillonnages précédents.....</i>	4
<i>Mesures en 2014 des arbres dominants et estimation de l'IQS à 25 ans.....</i>	4
<i>Analyses statistiques.....</i>	4
RÉSULTATS.....	5
DISCUSSION.....	6
<i>Retombées escomptées.....</i>	9
CONCLUSION.....	10
ANNEXES.....	11
RÉFÉRENCES.....	12

INTRODUCTION

La superficie des forêts productives dans la région administrative 02 (Saguenay-Lac-Saint-Jean) couvre 74 990 km² (Boulay 2015). Uniquement dans la forêt publique du Québec, 68 809 hectares ont été reboisés en 2012-2013 totalisant 115,2 millions de plants forestiers mis en terre (Boulay 2015). L'éloignement graduel des parterres de coupes qui sont situés entre 200 et 500 km au nord des pépinières qui produisent les plants forestiers fait en sorte d'augmenter les coûts de la plantation. Les coûts associés à un scénario de plantation varient entre 1 136 \$ et 7 368 \$ par hectare (Collectif 2014). Les scénarios non rentables économiquement se retrouvent davantage dans les régions nord du sous-domaine bioclimatique 6 Est et 6 Ouest (Collectif 2014).

Pour diminuer les coûts de productions des plants forestiers, le Bureau régional du Ministère des Forêts, Faune et Parcs du Québec, à l'initiative de M. Jean-Pierre Girard, responsable régional de la production des semences et des plants, a entrepris un programme de recherche conjointement avec les chercheurs de l'UQAC, pour développer la culture de plants de très petites dimensions (PTPD) comparative-ment aux plants dits conventionnels (Conv) (MRN 2000). Les premières expériences ont été réalisées avec la culture de l'épinette noire dans le récipient 126-25 et une version modifiée de ce récipient, le 126-15 (Lord *et coll.* 1999). Ces types de plants ont été reboisés de mai à septembre sur deux sites expérimentaux, celui du Lac Tonnerre en 1997 et du lac Henri en 1998; la croissance et la survie de ces plants étaient comparées à ceux cultivés dans les récipients 67-50 ou 45-110 (Lord *et coll.* 1999; Lord *et coll.* 2000). Les plants d'épinette noire cultivés en 126-25 ont aussi été utilisés dans des plantations expérimentales dans le but de remettre en production des milieux ouverts sur stations sèches (DS) (Walsh *et coll.* 2006; Hébert *et coll.* 2014).

Le premier bilan des performances des premières plantations a montré un taux de survie des PTPD de 86% au lac Tonnerre comparativement à 95% au lac Henri; la meilleure performance observée au lac Henri s'expliquerait par l'utilisation de lots de plus grandes tailles, soit 12 cm comparativement à seulement 8 cm au lac Tonnerre (Lord *et coll.* 000). Trois ans après la plantation, les mesures de croissance ont montré que le taux relatif de croissance des PTPD était supérieur à celui des plants conventionnels cultivés dans les récipients 67-50 ou 45-110 (Walsh *et coll.* 2002). Les mesures après 10 ans en plantation ont démontré qu'il n'y avait plus de différence significative de hauteur entre les plants 126-25 et 67-50 (Walsh *et coll.* 011). L'effet de la date de plantation était toujours présent 10 ans après la plantation, les plants reboisés en septembre étant significativement plus petits que ceux reboisés entre mai et août (Walsh *et coll.* 2002).

D'une manière similaire, les campagnes d'échantillonnages successives sur le dispositif de «Remise en production» ont montré que les PTPD d'épinette noire performaient aussi

bien que ceux cultivés en 67-50 lorsque la préparation de terrain était adéquate (Tremblay *et coll.* 2011; Walsh *et coll.* 2012; Hébert *et coll.* 2014). D'ailleurs, des essais en serre ont montré que les PTPD d'épinette noire sont tout aussi résistants aux stress hydriques que les plants de plus grandes tailles (Walsh *et Lord* 2012a; Walsh *et Lord* 2012b; Walsh *et coll.* 2014).

La courte période sans gel limite la durée de la saison de plantation dans la portion nordique de la forêt boréale commerciale. Le climat y étant plus rigoureux, la fenêtre temporelle visée par les gestionnaires s'étend de préférence entre la mi-juin et la fin août. Connaissant les conditions climatiques très froides des secteurs de reboisement visé et sachant que le gel pourrait être le facteur limitant l'emploi de plants de petites dimensions, nous avons testé ce nouveau type de plant sur une période de plantation plus étendue que ce qui est normalement prescrit sous ses latitudes. Le prolongement de la saison de plantation jusqu'en septembre a plusieurs avantages, permettant entre autres d'optimiser l'utilisation de la main d'oeuvre saisonnière et de rattraper les retards qui peuvent survenir au cours de la saison de plantation régulière, particulièrement lorsque les feux de forêt sont abondants.

L'évaluation du potentiel forestier est nécessaire pour planifier l'utilisation des ressources et pour guider l'aménagement des forêts. En Amérique du Nord, l'indice de qualité de station (IQS) est la mesure quantitative la plus souvent utilisée pour exprimer et évaluer le potentiel de croissance d'un peuplement forestier (Alemdag 1991). La qualité de la station est une variable importante en foresterie puisqu'on peut espérer un rendement élevé d'un peuplement situé sur une station fertile (Ordre des ingénieurs forestiers du Québec 1996). Beaumont *et coll.* (1999) ont montré que les paramètres des courbes d'IQS de l'épinette noire dépendent de la région écologique et des classes de drainage. Au Québec, Prigent *et coll.* (1996) ont construit des tables de rendement de l'épinette noire selon les indices de qualité de station et l'espacement initial moyen entre les plants. C'est toujours ces algorithmes qui sont utilisés au Québec pour prédire les volumes de bois (Prigent *et Lévesque* 2000; Prigent *et Végiard* 2000). Ces tables de rendement sont utilisées par le bureau du forestier en chef du Québec (Poulin 2013a; Poulin 2013b; Poulin 2013c).

Les courbes de plantation sont spécifiques à chaque combinaison d'essence, d'indice de qualité de station et de densité de mise en terre utilisée dans le calcul des possibilités forestières. Ces courbes sont générées par les modèles de Prigent *et coll.* (1996) pour l'épinette noire, de Prigent *et coll.* (2010) pour l'épinette blanche et Bolghari *et Bertrand* (1984) pour le pin blanc, le pin rouge et le pin gris. Ces modèles sont valides pour la période couverte par les observations terrains, soit jusqu'à 30 ou 65 ans selon l'essence (Bureau du forestier en chef 2013).

Les tables de rendement sont calculées à partir de l'infor-

mation tirée des placettes-échantillons temporaires des programmes d'inventaires décennaux québécois (Pothier et Savard 1998). Les plantations expérimentales comme celle du lac Henri ne sont donc pas représentées dans cet échantillonnage et nous ne connaissons donc pas le volume de bois qui pourrait théoriquement être récolté en reboisant avec ce type de plant. C'est pour cette raison qu'une campagne de mesurage a été réalisée à l'automne 2014 pour pouvoir calculer les IQS et estimer le volume marchand qui pourrait être récolté sur une rotation de 60 ans. L'IQS et le volume marchand de chaque parcelle ont été calculés à partir des modèles de croissance courant au Québec (Prégent et coll. 1996).

Le dispositif expérimental, qui a été mis en place près du lac Henri en 1998 dans le TFD-Mistassini au nord du Lac-Saint-Jean est l'une des plus vieilles plantations d'épinettes noires cultivées dans des récipients dont les cavités sont plus petites que 50 cm³. Il est donc primordial d'assurer un suivi de la croissance de ces plants afin d'avoir une idée de l'évolution des peuplements futurs qui seront générés avec ce type de récipient. Les plants d'épinette noire du dispositif du lac Henri sont maintenant âgés de 18 ans si l'on ajoute une année de croissance en pépinière pour les plants produits dans les récipients 126-15, 126-25 et 67-50 et de 19 ans pour ceux dans le récipient 45-110.

Une campagne de mesurage a été entreprise à l'automne 2014 par le MFFP en collaboration avec l'UQAC, afin de déterminer les IQS de ces parcelles. Une équipe de deux techniciens du MFFP ont mesuré la hauteur et le DHP de 480 arbres, soit les huit arbres dominants de chaque parcelle expérimentale. Ce rapport a pour but de fournir à nos partenaires du bureau régional du MFFP, une analyse statistique des résultats relatifs aux facteurs expérimentaux du dispositif :

1. le type de plants d'épinette noire reboisés : culture en 126-15, 126-25, 67-50 ou 45-110;
2. la date de la plantation : mai, juin, juillet, août et septembre.

Cette démarche nous permettra de valider ou d'infirmer trois hypothèses scientifiques sur lesquelles a été construit le dispositif expérimental du lac Henri :

1. Il n'y a pas de différence significative entre le patron de croissance en plantation des plants d'épinette noire cultivés en récipient de 15 ou 25 cm³ et ceux en récipient de 50 ou 110 cm³.
2. Il n'y a pas de différences significatives entre des plants reboisés en mai, juin, juillet, août ou septembre.
3. Il n'y a pas d'interaction entre le type de plants reboisés et la date de plantation.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Production des plants reboisés

Les plants ont tous été produits en serre sur le campus de

l'Université du Québec à Chicoutimi (48°25'N, 71°04'O) en 1997 et 1998. Les PTPD ont été produits à une densité de 1 658 plants.m⁻² dans des récipients de 126 cavités dont le volume était de 15 (126-15) ou 25 cm³ (126-25). Le récipient de 15 cm³ est en fait un récipient de 25 cm³ qui a été sectionné pour obtenir une cavité de 15 cm³ (Figure 1). Le récipient de 25 cm³ est manufacturé par la firme IPL sous le nom de Rigi-pot 126 x 25CC (Anonyme 2010) et était utilisé antérieurement par la DPSP pour le repiquage des plants à racines nues (J.-P. Girard, communication personnelle). Des plants produits dans les récipients conventionnels (Conv) de 67 cavités de 50 cm³ (67-50) ou de 45 cavités de 110 cm³ (45-110) ont été utilisés comme témoin dans cette expérience, la densité de production étant respectivement de 852 et 572 plants.m⁻² (Figure 2).

Les détails de la régie de culture sont donnés dans Lord et coll. (2000) et Walsh et coll. (2011). Les semences provenaient d'un verger à graines du Ministère des Ressources naturelles du Québec (EPN-V8-025-K13-026-96).

Localisation

L'étude a été réalisée à plus de 125 km au nord du Lac-Saint-Jean, province de Québec, Canada (49°59'N, 71°56'O), dans le domaine bioclimatique de la pessière noire à mousses de l'Est, région écologique 6-h-T (Saucier et coll. 2000) (Tableau 1). La figure 3 montre les sites où ont été réalisées les plantations expérimentales. Le climat régional est de type subpolaire subhumide continental, caractérisé par une très courte saison de croissance. Les précipitations estivales sont en moyenne de 946 mm. La température annuelle moyenne est de -1.8°C, le nombre de jours sans gel de 134 et le nombre moyen de degrés-jours au-dessus de 5°C est de 971 (Environnement Canada 2013).

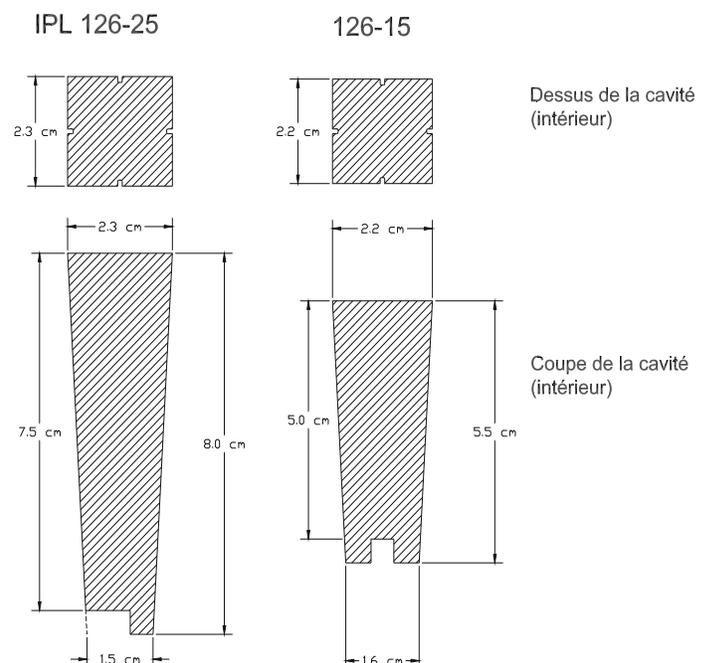
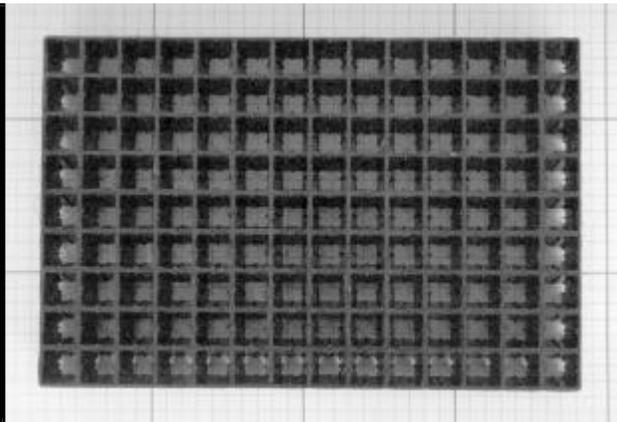
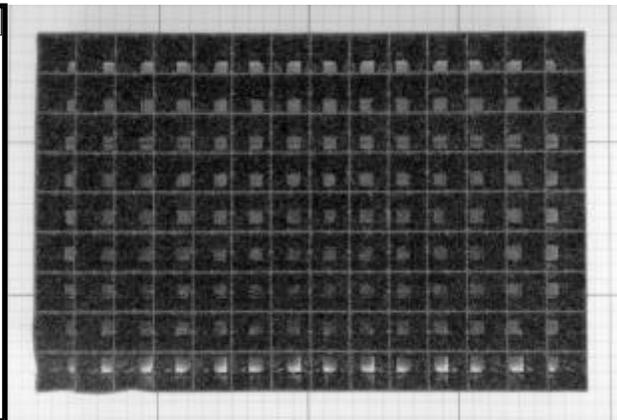


Figure 1. Schéma d'une cavité des récipients 126-25 et 126-15.

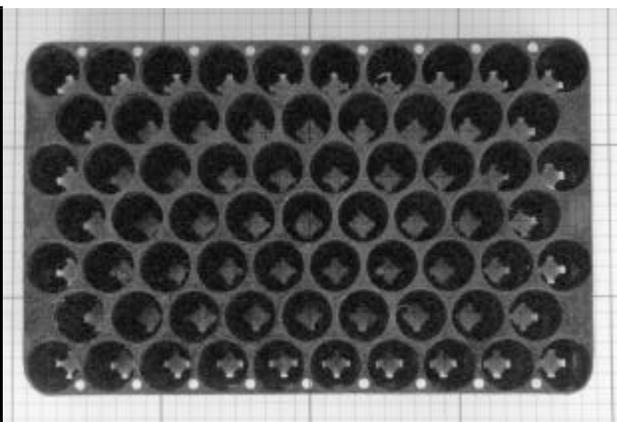
126-15 (IPL Inc.)	
Longueur	: 34,3 cm
Largeur	: 22,2 cm
Profondeur	: 5,5 cm
Surface	: 0,076 m ²
Matériaux	: Polyéthylène haute densité
Nombre de cavités	: 126
Diamètre de la cavité	: ---
Côté de la cavité	: 2,2 cm
Volume de la cavité	: 15 cm ³
Plants au m ²	: 1 658
Efficacité des arrosages	: nd



126-25 (IPL Inc.)	
Longueur	: 34,3 cm
Largeur	: 22,2 cm
Profondeur	: 8,0 cm
Surface	: 0,076 m ²
Matériaux	: Polyéthylène haute densité
Nombre de cavités	: 126
Diamètre de la cavité	: ---
Côté de la cavité	: 2,3 cm
Volume de la cavité	: 25 cm ³
Plants au m ²	: 1 658
Efficacité des arrosages	: nd



67-50 (IPL Inc.)	
Longueur	: 35,4 cm
Largeur	: 22,2 cm
Profondeur	: 9,0 cm
Surface	: 0,078 m ²
Matériaux	: Polyéthylène haute densité
Nombre de cavités	: 67
Diamètre de la cavité	: 3,2 cm
Côté de la cavité	: ---
Volume de la cavité	: 50 cm ³
Plants au m ²	: 852
Efficacité des arrosages	: nd



45-110 (IPL Inc.)	
Longueur	: 35,4 cm
Largeur	: 22,2 cm
Profondeur	: 12,5 cm
Surface	: 0,078 m ²
Matériaux	: Polyéthylène haute densité
Nombre de cavités	: 45
Diamètre de la cavité	: 3,9 cm
Côté de la cavité	: ---
Volume de la cavité	: 110 cm ³
Plants au m ²	: 572
Efficacité des arrosages	: 0,930

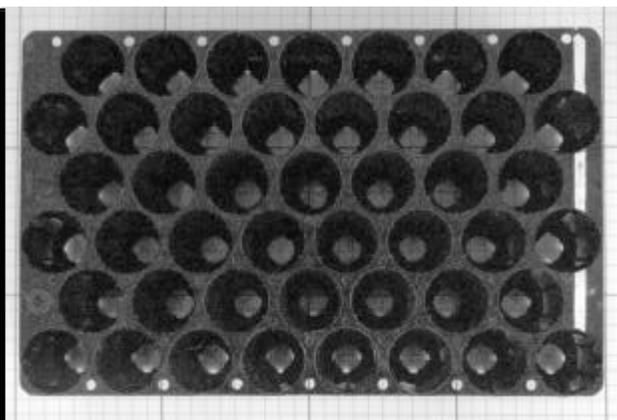


Figure 2. Caractéristiques des quatre types de récipient utilisés pour la plantation du lac Henri.

Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental original comprend cinq blocs; trois blocs sont localisés sur un till indifférencié bien drainé où le peuplement d'épinette noire de plus de 90 ans a été récolté en 1994 par la méthode de coupe avec protection de la régénération et des sols (CPRS), tandis que les deux autres sont situés sur une terrasse sablonneuse fluvioglaaciaire bien drainée où le peuplement mixte d'épinette noire et de pin gris a fait l'objet d'une coupe totale en 1994. Les parterres de coupe ont été scarifiés en 1997 en utilisant un scarificateur de type Delta à disques espacés de deux mètres. Chaque bloc comprenait les quatre types de plants (cavités de 15, 25, 50 et 110 cm³) combinés à cinq dates de plantation (du 25 au 28 mai, du 22 au 25 juin, du 20 au 23 juillet, du 17 au 20 août, du 14 au 17 septembre 1998). Chaque unité expérimentale formait une parcelle de 40 m x 40 m comprenant 400 plants espacés à tous les deux mètres. Les deux blocs localisés sur les dépôts fluvioglaaciaires ont brûlé en 2007 et le dispositif expérimental actuel n'est donc plus composé que de trois blocs expérimentaux formés de 20 parcelles chacun.

Échantillonnages précédents

Des échantillonnages successifs ont été réalisés au début du mois de septembre ou d'octobre correspondant à la 2^e, 4^e, 5^e, 6^e et 10^e année en plantation. Les plants échantillonnés ont été rapportés au laboratoire pour mesurer la hauteur totale ainsi que le diamètre au niveau du collet. La biomasse sèche de la cime a été déterminée pour les années 2, 3, 4 et 6, alors que l'année 6 n'a pas été retenue pour la biomasse sèche des racines. Les aiguilles des pousses annuelles des cinq plants récoltés ont été prélevées et combinées par parcelle. Le contenu en N, en P, en K, en Ca et en Mg a été analysé par un laboratoire certifié (Direction de la recherche forestière, ministère des Forêts, de la Faune et des Parc du Québec, Québec). Dans chaque parcelle, 100 plants répartis aléatoirement ont été localisés précisément au moment de la plantation. Ce sont toujours ces mêmes 100 plants qui ont servi à mesurer le taux de survie en notant l'état des plants (mort ou vivant). Ces données ont déjà été publiées (Walsh *et coll.* 2002; Walsh *et coll.* 2011).

Mesures en 2014 des arbres dominants et estimation de l'IQS à 25 ans

Ce protocole suit les directives décrites dans Prégent *et coll.* (1996); l'IQS à 25 ans a été calculé à partir de leurs modèles en utilisant la hauteur dominante.

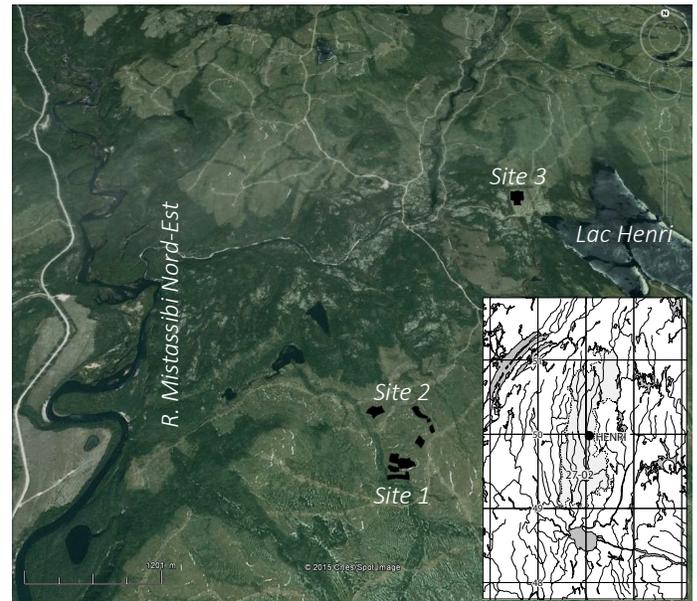


Figure 3. Carte de localisation des sites des plantations expérimentales réalisées en 1998 près du lac Henri situé dans l'U.G. 27-02.

Dans chacune des placettes, on a choisi huit épinettes noires dominantes, saines et sans défaut extérieur apparent, équivalant aux 200 plus hautes tiges à l'hectare. Pour chacun de ces arbres, le DHP (au millimètre près) a été mesuré à l'aide d'un gallon circonférentiel et la hauteur totale au centimètre près, à l'aide d'une perche de mesure à lecture numérique.

Analyses statistiques

Le volume de chaque tige a été estimé par la méthode de Forslund et Paterson (1994) où la tige de l'épinette noire est assimilée à un paraboloïde par la formule suivante :

$$Vol. = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1,3}{H}\right)^{-1} \pi \frac{DHP^2}{4} H C$$

Où

- Vol. : volume de la tige en décimètres cubes (dm³).
- 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 dm³ puisque le DHP est en cm et H en m.

Les variables mesurées H_{dom}, DHP_{dom} et celle calculée, Vol_{dom} ont été analysées selon un plan factoriel en blocs complets

Tableau 1. Localisation et caractéristiques des sites de plantation.

Site	Latitude	Longitude	Sous-région District		Drai-nage	Dépôt cart.	Type écologique	
			écol.	écol.				
1	49.976	-71.895	6h-T	140E046	C	30	1A	RS22
2	49.979	-71.891	6h-T	140E046	C, D	20, 30	1A, 1AY	RS2A, MS22
3	50.007	-71.873	6h-T	140E046	C	30	1A	RS22

en utilisant la procédure REML de l'analyse de variance du logiciel JmpPro version 12.0.1 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). L'effet bloc (le site) est considéré comme un facteur fixe. L'interaction Bloc x Récipient x Date de plantation (B x R x D) a été utilisée comme erreur résiduelle (Quinn et Keough 2002). L'hétéroscédasticité des résidus a été vérifiée graphiquement en examinant la dispersion des valeurs résiduelles en fonction des valeurs prédites et la normalité par le test de Shapiro-Wilk (Montgomery 1984). Un test de T de Student a été utilisé pour comparer les moyennes lorsqu'un facteur était significatif à 0,05 (Kirk 1982; Mize et Schultz 1985). Les moyennes des moindres carrés et les intervalles de confiance à 95% sont présentés dans les figures et tableaux.

La hauteur mesurée sur les arbres dominants a été utilisée pour calculer les IQS de chaque Récipient x Date de plantation. Les modèles de croissance tirés de Prégent et coll. (1996) ont été utilisés pour calculer l'indice de qualité de station (IQS), la surface terrière totale (G_t), la surface terrière marchande (G_m), le volume total (V_t) et le volume marchand (V_m). L'extrapolation du volume marchand entre 36 et 60 ans a été calculée en suivant la méthode décrite dans Prégent et coll. (1996). Brièvement, le volume marchand a été calculé pour les âges entre 15 à 35 ans. Afin d'éviter la baisse soudaine du volume marchand causée par l'extrapolation du modèle, l'accroissement annuel moyen en volume marchand a été maintenu constant jusqu'à 60 ans à partir de l'âge auquel l'accroissement atteint une valeur maximale.

RÉSULTATS

L'analyse de variance de la hauteur des arbres dominants indique un effet significatif du site de reboisement (Tableau 2). La hauteur moyenne atteinte en 2014 par les arbres dominants des sites 1 et 2 était de 4,75 m comparativement à 3,1 m sur le site 3 (Figure 4A). Les deux autres facteurs à l'étude, le type de récipient, la date de plantation ainsi que l'interaction entre les deux n'ont pas d'effet significatif sur la croissance en hauteur (Tableau 2). En moyenne, les 126-15 mesuraient 4,2 m, les 126-25 4,1 m, les 67-50 4,1 m et les 45-110 4,4 m (Figure 4B). Les plants reboisés en juillet étaient plus grands, 4,4 m en moyenne et ceux reboisés en

septembre étaient les plus petits, 3,9 m; cette différence n'est pas significative au point de vue statistique (Figure 4C; Tableau 2). Comme il a été dit plus haut, l'interaction Récipient x Date n'est pas significative et cet effet est illustré à la figure 4D.

L'analyse de variance du DHP des arbres dominants indique un effet significatif du site de reboisement (Tableau 2). En moyenne en 2014, le DHP des arbres dominants était de 57 mm sur les sites 1 et 2 et de 31 mm sur le site 3 (Figure 5A). Les deux autres facteurs à l'étude, le type de récipient, la date de plantation ainsi que l'interaction entre les deux n'ont pas d'effet significatif sur le DHP (Tableau 2). En moyenne, les 126-15 avaient un DHP de 46 mm, les 126-25 un DHP de 48 mm, les 67-50 un DHP de 46 mm et les 45-110 un DHP de 50 mm (Figure 5B). Le DHP des plants reboisés de mai à juillet était plus grand (49 mm) que celui des plants reboisés en août (48 mm) ou septembre (43 mm); ces différences ne sont cependant pas significatives ($P = 0,2$; Tableau 2; Figure 5C). L'interaction Récipient x Date n'est pas significative et est illustrée à la figure 5D.

Les moyennes du volume d'une tige après 17 ans en plantation, estimés par la méthode de Forslund et Paterson (1994), diffèrent significativement entre les sites de plantation (Tableau 2). Le volume des arbres reboisés sur les sites 1 et 2 est significativement plus grand que ceux localisés sur le site 3 (Figure 6A). Le volume des arbres du site 1 était en moyenne de 8,8 dm³, ceux sur le site 2 de 8,1 dm³ et ceux du site 3 de seulement 2,4 dm³. Le volume moyen ne différait pas significativement entre les types de plants reboisés ni entre les dates de plantation (Tableau 2; Figures 6B-C). La figure 6D montre les fluctuations entre les différentes combinaisons de plants et de date, fluctuations qui sont aléatoires puisque l'interaction R x D n'est pas significative ($P = 0,92$; Tableau 2).

L'IQS des sites 1 et 2 est significativement plus élevé que celui du site 3 (Tableau 3; Figure 7A). L'IQS à 25 ans des sites 1 et 2 est de 7,4 m comparativement à 4,8 m sur le site 3 (Figure 7A). La surface terrière totale ainsi que marchande, de même que le volume total de la tige différaient significativement en 2014 entre les sites (Tableau 3). Ces trois

Tableau 2. Analyse de variance de la hauteur, du DHP et du volume de la tige des épinettes noires dominantes des sites reboisés en 1998 et mesurés en 2014. Le volume a été calculé par la méthode de Forslund et Paterson (1994).

Source			Hauteur		DHP		Volume	
	d.l.n.	d.l.d.	F	P	F	P	F	P
Site (S)	2	38	81,03	< 0,0001	76,45	< 0,0001	56,62	< 0,0001
Type de récipient (R)	3	38	0,93	0,44	0,76	0,52	1,00	0,40
Date de plantation (D)	4	38	1,75	0,16	1,59	0,20	1,48	0,23
R x D	12	38	0,74	0,70	0,73	0,71	0,47	0,92

d.l.n. : degrés de liberté au numérateur.

d.l.d. : degrés de liberté au dénominateur.

F : rapport de F.

P : probabilité du rapport de F.

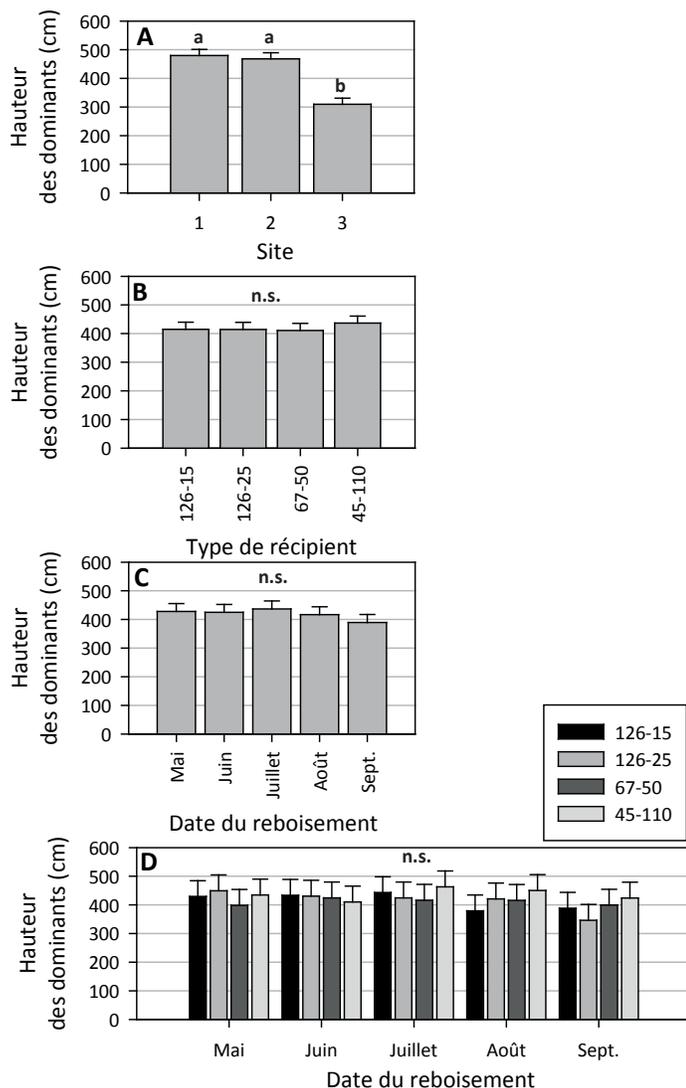


Figure 4. Hauteur des épinettes noires dominantes après 17 ans en plantation (18 ou 19 ans d'âge), en fonction du site (A), du type de récipient utilisé lors de la culture des plants (B), de la date de plantation (C) ou de l'interaction entre le récipient et la date (D). En (A), les moyennes surmontées de lettres différentes sont significativement différentes à $p < 0,05$; n.s., non significatif. Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 95% de la moyenne. Les moyennes sont calculées à partir de 160 arbres (A), 120 arbres (B), 96 arbres (C), 24 arbres (D).

variables étaient significativement plus faibles sur le site 3 comparativement aux sites 1 et 2 (Figures 7B-C-D). Aucun des trois sites n'avait de tige marchande, 17 ans après la plantation¹. Les moyennes des IQS, G_v , G_m et V_t de chaque combinaison de Récipient x Date de plantation sont présentées à l'annexe 1.

Les estimations du volume marchand à 60 ans par le modèle de prédiction de Prégent *et coll.* (1996) montraient des écarts significatifs entre les sites de reboisement (Tableau 4). Selon cette estimation, le volume marchand à 60 ans serait significativement plus élevé sur les sites 1 et 2 comparativement au site 3. Ces estimations prévoient un volume

1. Les arbres cultivés dans les 45-110 étaient âgés de 19 ans et les autres, de 18 ans.

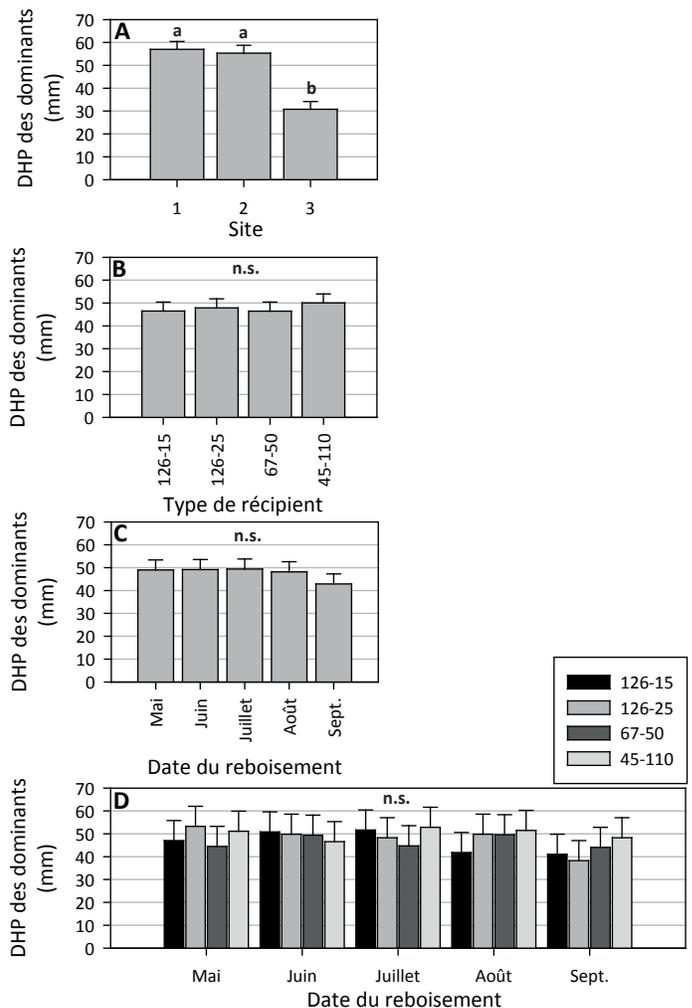


Figure 5. DHP des épinettes noires dominantes après 17 ans en plantation (18 ou 19 ans d'âge), en fonction du site (A), du type de récipient utilisé lors de la culture des plants (B), de la date de plantation (C) ou de l'interaction entre le récipient et la date (D). En (A), les moyennes surmontées de lettres différentes sont significativement différentes à $p < 0,05$; n.s., non significatif. Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 95% de la moyenne. Les moyennes sont calculées à partir de 160 arbres (A), 120 arbres (B), 96 arbres (C), 24 arbres (D).

marchand de 218 m³/ha sur les deux premiers sites et de 121 m³/ha sur le troisième (Figure 8). L'évolution du volume marchand au cours du temps est présentée à la figure 9. Ni le type de plants reboisés ni la date de plantation n'ont influencé de quelques façons les estimations du volume marchand (Tableau 4). Les estimations pour chaque combinaison de type de plant et de date de plantation sont présentées à l'annexe 2.

DISCUSSION

Notre première hypothèse est validée puisque nous n'avons pas observé de différences significatives de hauteur ou de DHP entre les différents types de plants qui ont été reboisés au lac Henri, 17 ans après la plantation (Tableau 2). Si après 10 ans en plantation, les plants 126-25 ne se différencient plus des 67-50, les 45-110 étaient toujours significativement plus grands que les trois autres types de plant

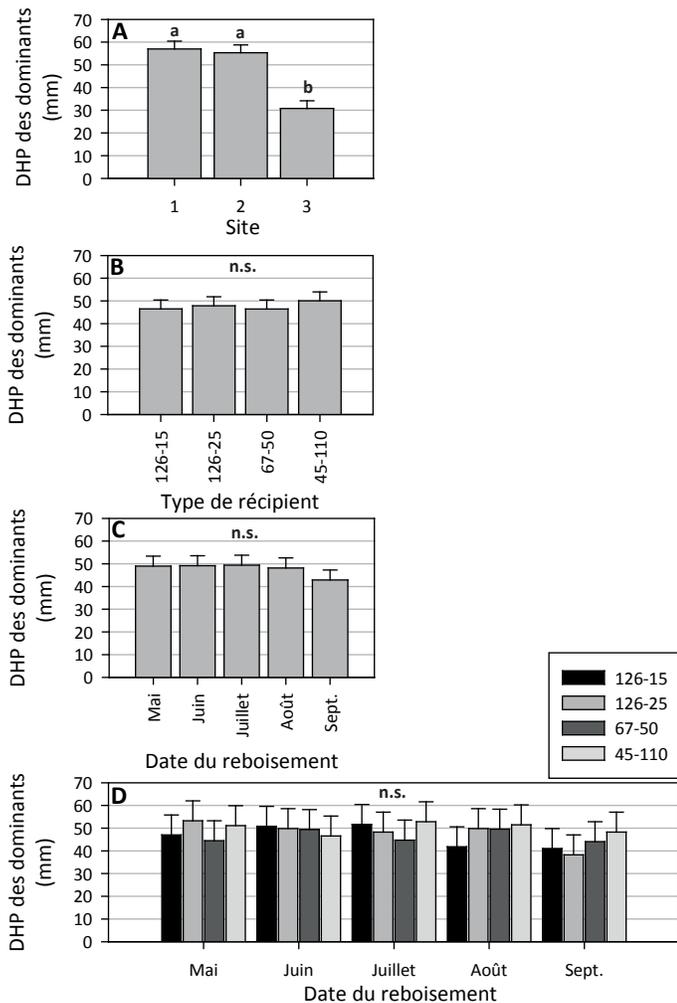


Figure 6. Volume d'une tige d'épinette noire dominante après 17 ans en plantation (18 ou 19 ans d'âge), en fonction du site (A), du type de récipient utilisé lors de la culture des plants (B), de la date de plantation (C) ou de l'interaction entre le récipient et la date (D). En (A), les moyennes surmontées de lettres différentes sont significativement différentes à $p < 0,05$; n.s., non significatif. Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 95% de la moyenne. Les moyennes sont calculées à partir de 160 arbres (A), 120 arbres (B), 96 arbres (C), 24 arbres (D).

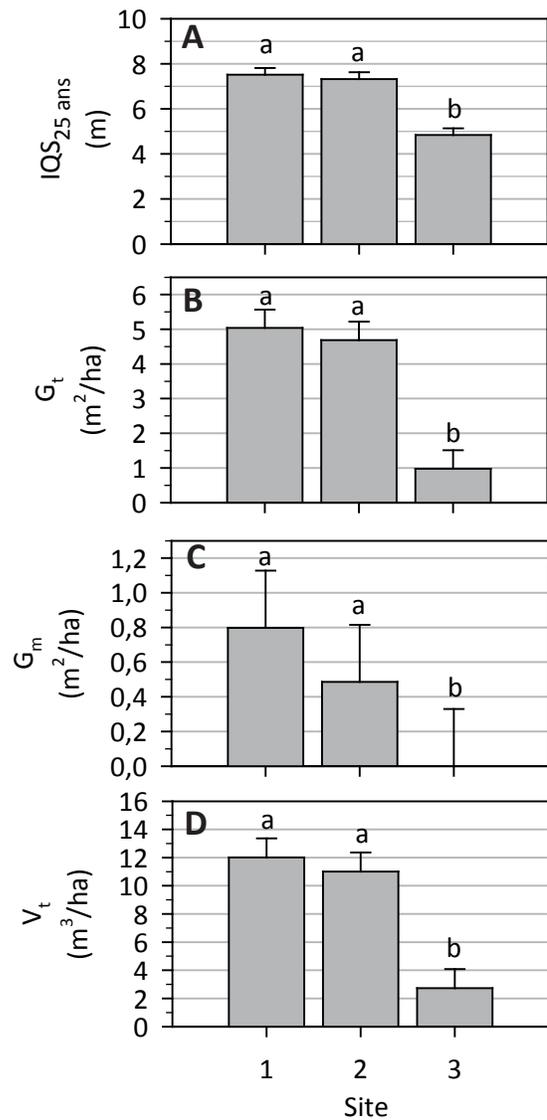


Figure 7. Indice de qualité de station à 25 ans (IQS) (A), surface terrière totale (G_t) (B), surface terrière marchande (G_m) (C) ainsi que le volume total (V_t) estimé après 17 ans en plantation (D). Moyenne des trois sites. Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 95%. Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes à $p < 0,05$.

Tableau 3. Analyses de variance de l'indice de qualité de station (IQS), de la surface terrière totale estimée (G_t), de la surface terrière marchande estimée (G_m) et du volume total estimé (V_t) en 2014.

Source	d.l.n.	d.l.d.	IQS		G_t		G_m		V_t	
			F	P	F	P	F	P	F	P
Site (S)	2	38	79,17	< 0,0001	75,21	< 0,0001	6,03	0,005	58,74	< 0,0001
Type de récipient (R)	3	38	0,26	0,86	0,81	0,49	1,65	0,19	0,79	0,51
Date de plantation (D)	4	38	1,73	0,16	1,70	0,17	1,45	0,24	1,67	0,18
R x D	12	38	0,73	0,71	0,56	0,86	0,32	0,98	0,45	0,93

(Walsh *et coll.* 2011). Les mêmes différences après 10 ans en plantation avaient aussi été observées pour le diamètre au collet. Les observations des trois premières années en plantation démontraient que le taux relatif de croissance en hauteur était plus élevé chez les PTPD par rapport au plant conventionnel et de ce fait, l'écart entre les PTPD et les plants conventionnels diminuait d'année en année, ce

que confirment les mesures de 2014 sur les arbres dominants (Walsh *et coll.* 2002).

Par contre pour la biomasse, les écarts entre les quatre types de plants demeuraient toujours significatifs même dix ans après la plantation (Walsh *et coll.* 2011). Le volume de la tige est directement corrélé à la biomasse aérienne du plant

Tableau 4. Analyse de variance de l'estimation du volume marchand (V_m) à 60 ans.

Source	d.l.n.	d.l.d.	F	P
Site (S)	2	38	75,21	< 0,0001
Type de récipient (R)	3	38	0,09	0,97
Date de plantation (D)	4	38	1,65	0,18
R x D	12	38	0,87	0,59

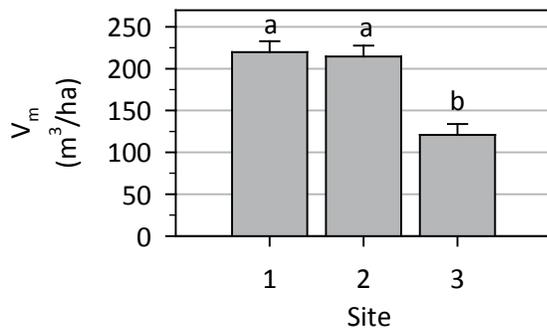


Figure 8. Volume marchand (V_m) estimé à 60 ans. Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 95%. Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes à $p < 0,05$.

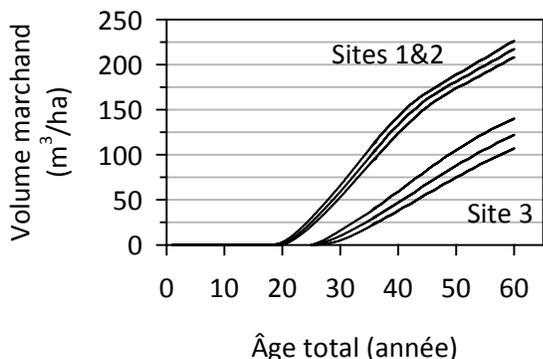


Figure 9. Prédiction du volume marchand jusqu'à 60 ans ainsi que des limites de confiance à 95% pour les sites 1-2 et 3.

et c'est pour cette raison que nous avons calculé le volume de la tige en 2014. Ces résultats démontrent sans l'ombre d'un doute que les gains en volumes des PTPD sont comparables à ceux des plants conventionnels (Tableau 2; Figure 6). Le degré de précision de la formule de Forslund et Paterson (1994) est de 5% par rapport à la valeur obtenue par la formule de Smalian qui est la méthode la plus précise pour calculer le volume d'une tige (Ministry of Forests, Lands and NRO 2011). D'après Krause et coll. (2009), cette méthode sous-estime le volume de 6% dans le cas de l'épinette noire. Krause et coll. (2014) ont aussi utilisé cette formule dans une vaste campagne d'échantillonnage des plantations d'épinette noire et de pin gris couvrant une grande partie de la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean.

La seconde hypothèse voulant qu'il n'y ait pas de différences significatives entre les plants reboisés à différentes dates durant la saison de reboisement a aussi été validée (Tableau 2). Les mesures prises 10 ans après la plantation semaient

le doute sur la pertinence de reboiser des plants d'épinette noire aussi tardivement qu'en septembre puisque toutes les variables mesurées (hauteur, diamètre au collet, biomasse de la tige et biomasse des racines) étaient significativement plus basses chez les plants reboisés en septembre comparativement aux autres dates de plantation (Walsh et coll. 2011).

Enfin, la troisième hypothèse est aussi validée puisque les trois variables étudiées, H_{dom} , DHP_{dom} et Vol_{dom} ne diffèrent pas significativement entre les différentes combinaisons de types de plant et de date de plantation (Tableau 2). La croissance des PTPD ne diffère pas de celle des plants conventionnels et ceux-ci peuvent être reboisés de mai à septembre sans que la croissance à long terme soit hypothéquée, ce qui donne une flexibilité accrue dans l'utilisation de ce type de plants forestiers. L'analyse des estimations des IQS, des surfaces terrières ou du volume total 17 ans après la plantation confirme ces résultats (Tableau 3).

La date de la plantation a cependant influencé la survie initiale des plants puisque le taux de survie des plants reboisés en mai et en septembre était significativement plus bas comparativement aux autres dates de plantation (Walsh et coll. 2011). Il faut noter cependant que la mortalité s'est produite principalement durant les deux premières années de la plantation et que très peu de plants sont morts par la suite. Le pic de mortalité coïncidait aux épisodes de gel au sol survenus en mai et septembre de l'année de la plantation (Walsh et coll. 2002). La mortalité des PTPD était légèrement plus élevée que celle des plants conventionnels (Walsh et coll. 2011). Malgré tout, le taux de survie était de 91% après 10 ans et la densité des PTPD variait entre 2 150 et 2400 tige.ha⁻¹, ce qui dépasse largement la norme d'aménagement fixée à 1 500-2 000 tige.ha⁻¹ par le MRNFP (2003).

Le reboisement de PTPD a aussi été testé dans d'autres provinces du Canada. Des mini-plants (*mini-plug*) d'épinette noire ont été utilisés en Ontario en 1991 (Whaley et Buse 1996). Ces plants d'épinette noire ont été cultivés dans des récipients de 400 cavités de 1,27 cm de diam. x 4,45 cm de profondeur; ce type de récipient est surtout utilisé pour la culture de transplants servant à la production de plants à racines nues (Klapprat 1988). Le taux de survie après trois ans était de 60 % environ (Whaley et Buse 1996). La revue de littérature compilée par Sutherland et Day (1988) montre un taux de survie très variable pour d'épinette noire et l'épinette blanche cultivées dans des récipients de 12 à 35 cm³; le taux de survie après trois ans varie entre 39 et 88 %. En Suède, des mini-plants d'épinette de Norvège cultivés pendant 10 semaines dans des pastilles Jiffy de 13 cm³ avaient un taux de survie de 80-84 % après trois ans en plantation. Le taux de survie des PTPD du lac Henri est largement supérieur à ces résultats.

La Suède a d'ailleurs intégré à son programme de reboisement l'utilisation de mini-plants (*mini seedlings*) de pin sylvestre et d'épinette de Norvège (Danielsson et coll. 2008).

Les mini plants sont cultivés dans des récipients de 10-20 ml pendant 8-12 semaines (Langstrom *et coll.* 2007). Ces mini plants sont utilisés pour contrer les ravages du charançon du pin puisque les mini plants sont moins susceptibles d'être attaqués par cet insecte (Langstrom *et coll.* 2007; Danielsson *et coll.* 2008; Oleras 2008; Kannaste *et coll.* 2013).

L'amélioration du taux de survie des PTPD du lac Henri comparativement à celui du lac Tonnerre s'expliquerait en grande partie par l'allongement de la période de culture en serre qui a permis de livrer sur le site de plantation des plants de plus de 10 cm de hauteur, taille qui nous semble optimale dans les conditions de reboisement de la pessière noire à mousses (Walsh *et coll.* 2002; Walsh *et coll.* 2011). Cette norme de hauteur est d'ailleurs en vigueur dans les inventaires de qualification de la DGPSP pour ce gabarit de plants (MRN 2013).

L'IQS moyen à 25 ans est de 6,6 m pour les trois sites, ce qui est supérieur à la moyenne de 5,7 m retrouvée dans la pessière noire par Prégent et Végiard (2000) pour l'épinette noire d'âge identique à celui du lac Henri (19 ans). Au lac Henri, la surface terrière totale est trois fois plus élevée que de la moyenne des parcelles échantillonnées par Prégent et Végiard (2000), soit 3,6 m².ha⁻¹ comparativement à 1,1 m².ha⁻¹. Ces résultats sont d'autant plus intéressants en considérant le fait que la moitié des plants reboisés au lac Henri sont des PTPD tandis que ceux de l'échantillonnage de Prégent et Végiard (2000) sont des plants à racines nues ou des plants cultivés en récipient 45-110. Krause *et coll.* (2014) évaluent à 5,1 m l'IQS moyen à 25 ans pour les plantations d'épinette noire situées dans les pessières du Lac-Saint-Jean; les types écologiques RS2 ont un IQS de 5,5 m en moyenne comparativement à 5,0 m pour le type RE2.

Le seul facteur qui influence significativement la croissance des arbres est le facteur site. Pourtant, ces trois sites ont des caractéristiques assez semblables (Tableau 1); en finalité, le rendement forestier sera probablement fort différent entre les sites, 218 m³/ha pour les sites 1 et 2 et seulement 121 m³/ha pour le site 3 sur une rotation de 60 ans (Figure 9).

Le volume marchand qui pourrait être récolté pourrait même être plus élevé. Le volume par tige estimé par la méthode de Forslund et Paterson (1994) est 8,8 dm³ sur le site 1, 8,1 dm³ sur le site 2 et 2,4 dm³ sur le site 3 (Figure 6A). Lorsque l'on fait la conversion du volume total par hectare estimé par la formule de Prégent *et coll.* (1996) en volume pour une tige, on obtient respectivement 4,8 dm³, 4,4 dm³ et 1,1 dm³ après 17 ans pour chacun des trois sites. Ces résultats signifient que les estimations faites à partir des formules de Prégent *et coll.* (1996) sous-estiment la production en volume, en bas âge du moins, par rapport aux calculs faits à l'aide de la formule de Forslund et Paterson (1994). Le DHP mesuré en 2014 est pourtant assez semblable à celui tiré des tables de rendement de Prégent *et coll.* (1996). Prégent et Végiard (2000) ont observé dans leur échantillonnage des plantations de la pessière noire un phénomène inverse: la

surface terrière observée était généralement inférieure à celle prédite par les tables de rendements lorsque l'IQS est supérieur à 6 m.

Prégent et Végiard (2000) ont aussi remarqué de très grands écarts dans la qualité des stations d'épinette noire en forêt boréale où près de 32 % des placettes ont un IQS plus bas que le plus petit indice des tables de rendement calculées avec des placettes situées dans la partie méridionale du Québec (< 5 m). La texture, le drainage, la pente, l'exposition, le type de dépôt, la latitude, les nombreux paramètres chimiques du sol, l'abondance ou la présence d'une plante particulière (on pense ici au *Kalmia*) ne permettent de prédire l'indice de qualité de station; seuls le nombre d'espèces naturelles en excluant les mousses et lichens et la capacité d'échange cationique du sol permettent de prédire l'IQS (R² = 0,42) (Prégent et Végiard 2000).

Les IQS des parcelles du lac Henri sont par contre pratiquement identiques aux IQS mesurés par Prégent et Poliquin (2006) dans la pessière à mousses de l'Est. Dans cette étude, les auteurs ont pu circonscrire certains facteurs de l'environnement qui expliqueraient les différences de la qualité du site; la latitude, l'altitude, la compétition et le drainage permettraient de prédire la croissance de l'épinette noire avec un R² = 0,64. Dans notre cas, nous n'avons pas suffisamment de mesures sur les variables environnementales pour pouvoir expliquer les différences de croissance des arbres entre les sites de plantation du lac Henri. Cette problématique de fertilité des sites de reboisement ne faisant pas partie du mandat de ce projet de recherche, des études plus poussées seraient nécessaires pour expliquer ces différences.

Retombées escomptées

L'utilisation des PTPD peut améliorer la rentabilité des plantations d'épinette noire implantées dans la pessière à mousses. Le coût de production en pépinière des PTPD est inférieur à celui des plants conventionnels. Pour l'année financière 2014-2015, le coût de production des plants dans le récipient 113-25 est de 212\$/Mplants, comparativement à 224 \$/Mplants pour le 67-50 et 260 \$/Mplants pour le 45-110 (Anonyme 2015). Le transport des plants de la pépinière à la jauge n'est pas inclus dans le coût du reboisement et est aux frais de Rexforêt (Anonyme 2015). Des économies substantielles peuvent être réalisées au niveau du transport puisqu'un semi-remorque peut transporter 375 000 plants 126-25, 200 000 plants 67-50 et seulement 100 000 plants 45-110². Rexforêt a consacré 2,2 M\$ en frais de transport de plants pour l'année financière 2013-2014³. Le coût du reboisement s'élevait à 31,5 M\$, dont 15,7 M\$ pour la seule région du Saguenay-Lac-Saint-Jean⁴. L'analyse de rentabilité

2. Walsh *et coll.* 2003. Affiche présentée au Carrefour de la recherche forestière, Québec. Février 2003.

3. Rexforêt. Tableau 1 Programme régulier de travaux sylvicoles non commerciaux (2013-2014). http://rexforet.com/documents/Bilan2_Programme_regulier_tr_sylvivoles_2013-2014.pdf

4. Rexforêt. Tableau 2. Programme régulier de travaux sylvicoles.

économique des plantations du Bureau de mise en marché du bois a révélé certains scénarios de reboisement non rentables, notamment dans les U.A. 2661, 8763 et 9351 de la pessière à mousses de l'Est et de l'Ouest; les coûts associés à ces scénarios étaient calculés en fonction de l'emploi de plants cultivés en 45-110. Dans ces secteurs, il est plus probable que l'utilisation de plants 113-25 pourrait rentabiliser ces opérations. De plus, la culture du pin gris en récipient 113-25 est maintenant bien développée dans le réseau des pépinières privées et gouvernementales du Saguenay-Lac-Saint-Jean. L'utilisation du pin gris à la place de l'épinette noire serait une option à envisager sur les sites peu fertiles puisque tous les scénarios de plantation en pin gris s'avèrent rentables (Collectif 2014).

Le nouveau modèle d'évolution naturelle des forêts d'épinette noire développée par Gagnon *et coll.* (1999) montre que le passage de plusieurs feux successifs dans une pessière à mousses mène à un processus d'ouverture du couvert forestier. Les analyses dendrométriques et des macros fossiles de la pessière à lichens située dans leur limite méridionale de distribution par Payette *et coll.* (2000) démontrent d'ailleurs que ces peuplements résultent de la dégradation de la pessière à mousses sous un régime de feux catastrophiques successifs associé à des épidémies d'insectes. Ces sites ouverts sont entre autres cartographiés sous l'appellation DS (dénudés secs). Ils totalisent pour la région Saguenay-Lac-Saint-Jean plus d'un million d'hectares selon la banque de données de l'inventaire forestier (Côté *et coll.* 2003; Côté 2004). Ces sites sont considérés comme improductifs puisque la faible densité des tiges ne permet pas de récolter le bois d'une manière économique. Pourtant, il a été prouvé que certaines de ces stations « pauvres » classées DS ont déjà supporté des peuplements forestiers fermés de densité élevée (Côté 2004). Remettre en production de tels sites devient donc une idée attrayante.

L'utilisation de plants de dimensions plus petites que les conventionnels devraient garnir le sac du forestier d'un outil d'aménagement supplémentaire qui va lui permettre d'agir plus efficacement pour certaines opérations précises. L'outil « plants de très petites dimensions » d'épinette noire en récipient dont la cavité à un volume de 25 cm³ permettra de reboiser plus d'hectare avec le même budget global. Réservé aux sites où la végétation compétitive est peu présente, cet outil sera encore plus utile si le Québec fait le choix de remettre en production une partie des vastes dénudés secs nordiques qui se sont créés à la suite du passage de perturbations naturelles et à une régénération déficiente par la suite. Il sera aussi utile pour agir plus rapidement lorsqu'il devient évident, trois ou quatre ans après la perturbation, qu'un territoire perturbé ne se régénère pas avec une densité de tige suffisante pour obtenir, à terme, une forêt fermée. Dans le domaine de la pessière noire à mousse, cette situation risque de se produire plus fréquemment lors des Répartition régionale des dépenses d'exécution (2013-2014). http://rexforet.com/documents/Bilan3_Repartition_regionale_des_depenses_2013-2014.pdf.

années de grands feux de forêt, comme ce fut le cas en 2002. La fréquence augmentera également si, comme d'aucuns le suggèrent, la fréquence des feux en forêt boréale augmente à la suite du réchauffement climatique appréhendé. Pour que les aménagistes de la forêt boréale commerciale aient des choix d'outils performants et économiquement viables pour augmenter le capital forestier aux endroits jugés opportuns, il nous faut dès maintenant les connaissances scientifiques pour mesurer leur rendement.

CONCLUSION

Les mesures réalisées en 2014 montrent sans équivoque que les plants de très petites dimensions (126-15, 126-25) ont une aussi bonne croissance que les plants conventionnels (67-50; 45-110). Les analyses de variance montrent que les arbres qui ont été cultivés au départ dans le récipient 126 (15 ou 25 cc de volume des alvéoles) ont une croissance en hauteur et en diamètre similaire à ceux qui ont été cultivés dans les récipients conventionnels. Qui plus est, ce type de plants performe aussi bien tout au long de la saison de reboisement qui s'échelonne de mai à septembre. Le seul effet significatif est le site qui influence grandement le rendement du peuplement. Là encore, les PTPD performant aussi bien que les plants conventionnels sur le site le moins fertile.

ANNEXES

Annexe 1. Moyennes et intervalles de confiance (I.C.) à 95% de l'indice de qualité de station à 25 ans (IQS), de la surface terrière totale estimée (G_t), de la surface terrière marchande estimée (G_m) et du volume total estimé (V_t) en 2014 pour les différentes combinaisons de type de récipient et de date de plantation.

Date de plantation	Type de récipient utilisé	IQS (m)	G_t (m^2/ha)	G_m (m^2/ha)	V_t (m^3/ha)
Mai	126-15	6,9	3,8	0,5	9,2
	126-25	7,2	4,3	1,0	10,7
	67-50	6,4	3,2	0,2	7,9
	45-110	6,4	3,9	0,5	9,3
Juin	126-15	6,9	3,8	0,4	9,1
	126-25	6,9	4,0	1,0	10,3
	67-50	6,8	3,6	0,4	8,4
	45-110	6,0	3,4	0,9	8,8
Juillet	126-15	7,1	4,0	0,1	9,2
	126-25	6,8	4,1	1,1	10,4
	67-50	6,7	3,4	0,4	8,0
	45-110	6,8	4,6	0,8	10,9
Août	126-15	6,1	2,7	0,0	6,4
	126-25	6,7	3,4	0,5	8,1
	67-50	6,6	3,2	0,0	7,2
	45-110	6,6	4,2	0,4	9,7
Septembre	126-15	6,2	3,0	0,0	7,1
	126-25	5,5	2,2	0,0	5,0
	67-50	6,4	3,1	0,4	7,7
	45-110	6,2	3,5	0,0	8,2
I.C. 95%		0,9	1,4	0,9	3,5

Annexe 2. Moyennes et intervalles de confiance (I.C.) à 95% du volume marchand estimé (V_m) à 60 ans pour les différentes combinaisons de type de récipient et de date de plantation.

Date de plantation	Type de récipient utilisé	Moyenne des moindres carrés	Limites de confiance à 95%	
			inf.	sup.
Mai	126-15	196	162	229
	126-25	207	173	240
	67-50	175	141	208
	45-110	181	147	215
Juin	126-15	200	166	233
	126-25	192	158	225
	67-50	195	162	229
	45-110	164	130	197
Juillet	126-15	207	173	240
	126-25	186	152	219
	67-50	191	157	224
	45-110	198	164	231
Août	126-15	165	132	199
	126-25	194	161	228
	67-50	193	160	227
	45-110	192	159	226
Septembre	126-15	170	136	203
	126-25	145	111	178
	67-50	176	143	210
	45-110	177	144	211

RÉFÉRENCES

- Alemdag** IS. 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.
- Anonyme**. 2015. Valeur des traitements sylvicoles non commerciaux pour l'année financière 2014-2015. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Bureau de mise en marché des bois, 7 p.
- Beaumont** J-Fo, Ung C-H et Bernier-Cardou M. 1999. Relating site index to ecological factors in black spruce stands: Tests of hypotheses. *Forest Science*, 45 : 484-491.
- Bolghari** HA et Bertrand V. 1984. Tables préliminaires de production des principales essences résineuses plantées dans la partie centrale du sud du Québec. Service de la recherche (Terres et Forêts), ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, 392 p.
- Boulay** É. 2015. Ressources et industries forestières portrait statistique édition 2015. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Ste-Foy, Québec.
- Bureau du forestier en chef**. 2013. Manuel de détermination des possibilités forestières 2013-2018. Gouvernement du Québec, Roberval, QC.
- Collectif**. 2014. Analyse de rentabilité économique des plantations d'épinette noire et blanche et de pin gris. Bureau de mise en marché des bois, Gouv. du Québec, Québec, QC, 49 p.
- Côté, D.**, R. Gagnon, D. Lord, J. Allaire, et D. Walsh. 2003. Les milieux ouverts sur stations sèches: origine, évolution et intérêt en aménagement forestier durable. Carrefour de la Recherche forestière. UQAC, Québec.
- Côté D.** 2004. Mise en place d'une pessière à cladonie dans le domaine des forêts fermées d'épinette noire (*Picea mariana*) et potentiel pour la production forestière. Université du Québec à Chicoutimi., Chicoutimi, Québec, 96 p.
- Danielsson** M, Kannaste A, Lindstrom A, Hellqvist C, Stattin E, Langstrom B et Borg-Karlson AK. 2008. Mini-seedlings of *Picea abies* are less attacked by *Hylobius abietis* than conventional ones: is plant chemistry the explanation? *Scandinavian Journal of Forest Research*, 23 : 299-306.
- Environnement Canada**. 2013. Données des stations pour le calcul des normales climatiques au Canada de 1981 à 2010. http://climate.weather.gc.ca/climate_normals/results_f.html?stnID=5934&autofwd=1.
- Forslund** RR et Paterson JM. 1994. Nondestructive volume estimates of 11-year-old jack pine and black spruce using the power function volume model. *The Forestry Chronicle*, 70 : 762-767.
- Gagnon** R, Morin H, Lord D, Krause C, Cloutier S, Savard G et Potvin J. 1999. Les forêts d'épinette noire au Québec: recherche, nouvelles connaissances et applications en aménagement. Partenaire du Consortium de recherche sur la forêt boréale commerciale, UQAC, Laboratoire d'écologie végétale, 30 p.
- Hébert** F, Boucher J-F, Walsh D, Tremblay P, Côté D et Lord D. 2014. Black spruce growth and survival in boreal open woodlands 10 years following mechanical site preparation and planting. *Forestry*, 87 : 277-286.
- Kannaste** A, Zhao T, Lindstrom A, Stattin E, Langstrom B et Borg-Karlson AK. 2013. Odors of Norway spruce (*Picea abies* L.) seedlings: differences due to age and chemotype. *Trees: Structure and Function*, 27 : 149-159.
- Kirk** RE. 1982. Experimental design : procedures for the behavioral sciences. Brooks/Cole, Belmont, Calif.
- 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 : 267-274.
- 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. UQAC et MRNF, 54 p.
- Langstrom** B, Hellqvist C, Bylund H et Nordenhem H. 2007. Mini seedlings - a new concept in integrated pine weevil control. Sveriges lantbruksuniversitet . Institutionen för entomologi. Uppsala, Sweden.
- Lord** D, Walsh D et Allaire J. 1999. Plantation de semis d'épinette noire de petites dimensions : rapport final pour la période 1998-99. UQAC, Chicoutimi, Québec, 42 p.
- Lord** D, Walsh D et Allaire J. 2000. Plantation de plants d'épinette noire de petites dimensions - Rapport d'étape pour la période 1999-2000. UQAC, Chicoutimi, Québec, 43 p.

du Québec, Roberval, p. 77-81.

- Mize** CW et Schultz RC. 1985. Comparing treatment means correctly and appropriately. *Canadian Journal of Forestry Research*, 15 : 1142-1148.
- Montgomery** DC. 1984. Design and analysis of experiments J. Wiley New York/Toronto.
- MRN**. 2000. Pour une flexibilité accrue, le plant résineux cultivé en récipient. Direction de la production des semences et des plants, ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, Ste-Foy, Québec. Canada, 4 p.
- MRN**. 2013. Guide terrain Inventaire de qualification des plants résineux cultivés en récipients. Ste-Foy, Québec, Canada, 141 p.
- MRNFP**. 2003. Manuel d'aménagement forestier. Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs. Ste-Foy, Québec. 245 p.
- Oleras** C. 2008. Markberedningens, planteringspunktens och behållardjupets inflytande på granminiplantors etablering i fält : Influence of scarification, plantation spot, and container depth on the field establishment of mini spruce seedlings. Dalarna, Garpender, Sweden.
- Ordre des ingénieurs forestiers du Québec**. 1996. Manuel de foresterie. Les Presses de l'Université Laval, Québec .
- Payette** S, Bhiry N, Delwaide A et Simard M. 2000. Origin of the lichen woodland at its southern range limit in eastern Canada: the catastrophic impact of insect defoliators and fire on the spruce-moss forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 30 : 288-305.
- Pothier** D et Savard F. 1998. Actualisation des tables de production pour les principales espèces forestières du Québec. Ministère des Ressources naturelles, Direction des Inventaires forestiers, Sainte-Foy, Québec.
- Poulin** J. 2013a. Étapes du calcul des possibilités forestières 2.4 Évolution des strates. *Dans* : Manuel de détermination des possibilités forestières 2013-2018. Gouvernement du Québec, Bureau du Forestier en Chef, Roberval, QC, p. 55-61.
- Poulin** J. 2013b. Création des courbes d'évolution. Calcul des possibilités forestières 2013-2018. Bureau du forestier en chef, Roberval, QC, 53 p.
- Poulin** J. 2013c. 3.1 Plantation. *Dans* : Manuel de détermination des possibilités forestières. Gouvernement du Québec, Roberval, p. 77-81.
- Prégent** G et Végiard S. 2000. Rendement anticipé des plantations d'épinette noire dans les domaines écologiques de la pessière noire. Ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière, Sainte-Foy, Québec, 12 p.
- Prégent** G et Lévesque Y. 2000. Effets réels des traitements sylvicoles. Devis techniques pour le mesurage des plantations. MRN, Ste-Foy, Québec, 22 p.
- Prégent** G et Poliquin R. 2006. Bilan du second mesurage de la mesure des effets réels des plantations d'épinette blanche, noire, rouge et de Norvège, de mélèze laricin et de pin gris. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière, Ste-Foy, Québec, 54 p.
- Prégent** G, Bertrand V et Charette L. 1996. Tables préliminaires de rendement pour les plantations d'épinette noire au Québec. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Québec, 70 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. Gouv. Québec, MRNF, Dir. Rech. For., Québec, 73 p.
- Quinn** GP et Keough MJ. 2002. Experimental design and data analysis for biologists. University Press, Cambridge, UK, 537 p.
- Saucier**, J.-P., B. J.-F., P. Grondin, et A. Robitaille. 2000. Les régions écologiques du Québec méridional (3e version). Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Sainte-Foy, Québec.
- Tremblay** P, Hébert F, Allaire J et Walsh D. 2011. Remise en production des milieux ouverts sur stations sèches dans la pessière à mousses du Saguenay-Lac-Saint-Jean et du nord du Québec : résultats 5 et 10 ans après la plantation pour l'épinette noire. UQAC, Chicoutimi, Québec, Canada, 10 p.
- Walsh** D et Lord D. 2012a. Tolérance au stress hydrique des semis d'épinette noire cultivés dans les récipients 113-25 - effets de la date de plantation et du traitement de jours courts. UQAC & Consortium de recherche sur la forêt boréale commerciale, Chicoutimi, Québec, 35 p.
- Walsh** D et Lord D. 2012b. Effet de la taille des semis d'épinette noire sur la résistance au stress hydrique. UQAC & Consortium de recherche sur la forêt boréale commerciale, Chicoutimi, Québec,

11 p.

Walsh D, Allaire J et Lord D. 2002. Performance en plantation de plants d'épinette noire de petites dimensions : rapport d'étape pour la période 2001-2002. UQAC, Chicoutimi, Québec, Canada, 28 p.

Walsh D, Allaire J et Lord D. 2011. Survie et croissance de mini-plants d'épinette noire reboisés en forêt boréale : bilan de 10 ans en plantation. UQAC, 18 p.

Walsh D, Rossi S et Lord D. 2014. Size and age: intrinsic confounding factors affecting the responses to a water deficit in black spruce seedlings. *iForest – Biogeosciences and Forestry*, 8 : 401-409.

Walsh D, Tremblay P, Hébert F, Allaire J, Côté D et Lord D. 2012. Remise en production des milieux ouverts sur stations sèches dans la pessière à mousses du Saguenay-Lac-Saint-Jean et du nord du Québec : résultats 10 ans après la plantation pour l'épinette noire. 23 p.

Whaley RE et Buse LJ. 1996. Mini-plug seedlings and shelter seeding on three moisture regimes in the Pakwash Forest. Ontario Ministry of Natural Resources, Thunder Bay, Ontario, Canada, 5 p.

