

EFFETS DES MICROSITES CRÉÉS PAR LE BRÄCKE-MONTICULE SUR LA CROISSANCE DE L'ÉPINETTE NOIRE ET DU PIN GRIS: RÉSULTATS DES MESURES DE CROISSANCE PRISES 23 ANS APRÈS LA PLANTATION OPÉRATIONNELLE DU LAC CAOPATINA

Denis Walsh

Cornélia Krause

Daniel Lord



Publié par

UQAC

Université du Québec
à Chicoutimi

En collaboration avec

Forêts, Faune
et Parcs

Québec 

Février 2016

La photo de la couverture provient du site Bräcke Forest AB, Suède : <http://www.brackeforest.com>
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 de Cornélia Krause

555, boulevard de l'Université

Chicoutimi, Québec, G7H 2B1

Tél. : 418-545-5011, poste 5295; Télécopieur : 418-545-5012

courrier électronique : Cornelia_Krause@uqac.ca

EFFETS DES MICROSITES CRÉÉS PAR LE BRÄCKE-MONTICULE SUR LA CROISSANCE DE L'ÉPINETTE NOIRE ET DU PIN GRIS : RÉ- SULTATS DES MESURES DE CROISSANCE PRISES 23 ANS APRÈS LA PLANTATION DANS LE DISPOSITIF OPÉRATIONNEL DU LAC CAOPATINA

Par :

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

Collaboratrice:

Audrey Murray,
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 Forêts, de la Faune et des Parcs

RÉSUMÉ

Le dispositif opérationnel mis en place en 1985 afin d'étudier le rendement du scarificateur Bräcke-monticule est situé au nord du lac Caopatina dans le canton Hazeur, sur le territoire de la compagnie Barette-Chapais. Les arbres ont été rémesurés en 2008, 23 ans après la plantation. Ce rapport a pour but de comparer les hauteurs, les DHP et les volumes de la tige des plants d'épinette noire et de pin gris reboisés sur les différents microsites créés par le Bräcke-monticule et de faire une prévision à long terme du volume marchand à partir du calcul des IQS pour les différents microsites. Les trois variables mesurant la croissance, soit la hauteur, le DHP et le volume de la tige montrent tous les trois qu'il y aurait des gains appréciables en ce qui concerne le rendement des plantations reboisant les plants sur le monticule créé par un Bräcke-monticule.

Mots-clés : plantation, *Picea mariana*, *Pinus banksiana*, scarifiage, microsite, Bräcke-monticule, IQS.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été financé par le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, direction régionale du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Les auteurs sont redevables, en premier lieu, à M. Jean Pierre Girard du ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) région 02, qui a planifié les nouvelles mesures des arbres du site Caopatina et qui est à l'origine de ce projet. Nous adressons aussi des remerciements à M. Jean Chouinard, agent de recherche et de planification socioéconomique au Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, région 02 qui a pris et compilé les données.

INTRODUCTION

La pratique actuelle en matière de régénération forestière au Québec est de favoriser la régénération naturelle (Thiffault et coll. 2004). Lorsque la régénération en place est insuffisante, la plantation est généralement précédée d'une préparation de terrain par scarifiage (Prévost et Dumais 2003; Thiffault et coll. 2004; Thiffault et coll. 2005; Hébert et coll. 2014). Les dernières données statistiques mises à jour en janvier 2015 montrent que 68 847 800 hectares ont été reboisés ou ensemencés en forêt publique tandis que 65 313 400 hectares ont eu une préparation de terrain préalable durant l'année financière 2012-2013 (Boulay 2015).

La préparation de terrain mécanique joue un rôle important dans les plantations en créant un environnement favorable à la survie et à l'établissement des plants forestiers et influence les caractéristiques du futur peuplement (Ryans et Sutherland 2001). D'un point de vue opérationnel, le scarifiage mécanique crée des conditions de terrain relativement homogènes, en modifiant la disponibilité de l'eau, le régime thermique, la fertilité et la densité apparente du sol (Prévost 1992). La scarification augmente la température du sol favorisant la croissance du plant (Haeussler 1989; Brand 1991). Prévost (1996) a montré qu'en forêt boréale, l'enlèvement de la couche isolante d'humus dans les sillons de scarifiage entraîne une augmentation de 5 à 10 °C par rapport au sol témoin non scarifié; l'effet le plus notable a été observé au printemps. La préparation de terrain par un scarificateur accélère la décomposition de la matière organique et enrichit le sol en éléments minéraux (Prescott, Maynard et Laiho 2000).

En forêt publique au Québec, le scarifiage (56 284 ha.) est le principal type de préparation de terrain suivi du déblaiement (4 663 ha.), du labourage ou du hersage (3 312 ha.) et de l'élimination des tiges résiduelles (1 055 ha) (Boulay 2015). Généralement, la préparation de terrain est réalisée à l'aide d'un scarificateur à disques de type TTS (Thiffault et coll. 2005; Thiffault, Titus et Munson 2005). La technique de préparation de terrain par monticules, ou mise en buttes, est beaucoup moins répandue. Différentes machineries forestières sont utilisées pour produire des monticules; le plus connu est le scarificateur Bräcke-monticule M36, qui est formé de deux ou trois de roues munies de piches

dentelées; lorsque les roues tournent, elles arrachent et traînent la matière organique et le sol minéral formant un poquet et un monticule (Figure 1). Des gains importants en volume marchand pourraient être réalisés en reboisant sur le monticule formé par un Bräcke-monticule (Marek 1986; Boateng et coll. 2006).

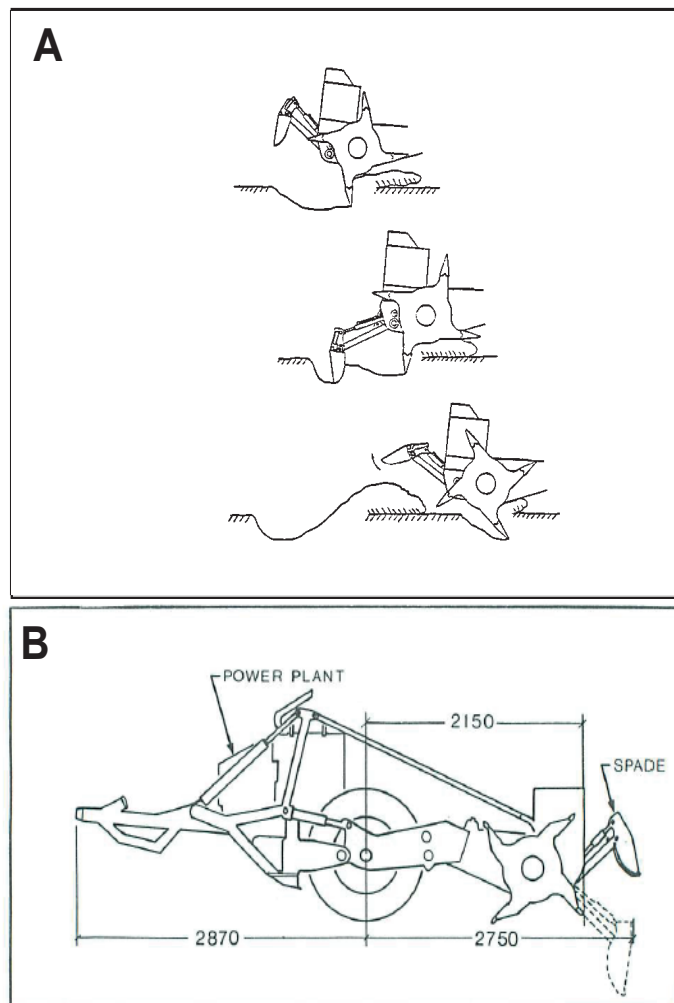


Figure 1. A-) Séquences montrant la formation d'un monticule par un scarificateur de type Bräcke-monticule. B-) Bräcke-monticule de la première génération utilisé pour le scarifiage du dispositif opérationnel de lac Caopatina. Schéma tiré de Sutherland (1989).

Très peu d'essais ont été réalisés au Québec avec ce type de machinerie. Le dispositif opérationnel situé près du lac Caopatina a été mis en place en 1985 par Marc Plante, ingénieur forestier au Ministère de l'Énergie et des Ressources, unité de gestion de Chibougamau (Plante 1987). À l'époque, la scarification par monticule comme préparation de terrain avant la plantation était peu connue; quelques essais avaient eu lieu en Colombie-Britannique au début des années quatre-vingt (Boateng et coll. 2006; Boateng et coll. 2009). C'est au cours de l'été 1985 qu'a été expérimenté ce type de préparation de terrain, et 200 hectares au nord du

lac Caopatina ont été scarifiés pour étudier ce nouveau type de préparation de terrain (Plante 1987). Ce type de préparation de terrain n'a pas été retenu par la suite puisque jugé plus coûteux que la préparation de terrain réalisée par les scarificateurs à disques de l'époque (Jean-Pierre Girard; communication personnelle).

Pourtant, la plantation sur monticule présente de nombreux avantages. Ce type de préparation de terrain peut être utilisée notamment afin d'améliorer le drainage des microsites et l'aération du sol tout en réduisant la végétation compétitrice. Les monticules créent des microsites favorables à l'établissement et à la croissance rapide des conifères. Le microsite surélevé augmente la température du sol autour des racines, améliore le drainage dans les sites humides, augmente l'aération dans les sols argileux humides, réduit l'impact de la végétation compétitrice et procure un substrat d'enracinement riche en matière organique (Haeussler, 1989). Puisque les monticules forment des microsites surélevés, ceux-ci favorisent nettement le réchauffement du sol autour des racines du plant. De plus, au printemps, le sol des monticules se réchauffe beaucoup plus rapidement que le parterre forestier (Haeussler 1989). Un accroissement de la température du sol favorise une augmentation de l'activité microbienne, ce qui a des effets bénéfiques sur la minéralisation des nutriments dans le sol et sur le développement des racines (Sutherland et Foreman, 1995).

Plus récemment, des travaux de recherche ont été réalisés pour étudier ce mode de préparation de terrain (Buitrago 2014; Buitrago et al. 2015). Cependant, ces plantations sont trop jeunes (deux ans seulement) pour vraiment évaluer les bénéfices de ce type de préparation de terrain. Pour cette raison, toutes les informations qui pourraient être récoltées sur des plantations anciennes dans la région boréale sont cruciales pour vraiment évaluer ce type de préparation de terrain. C'est pour cette raison que Jean-Pierre Girard, responsable régional de la production des semences et des plants, Direction régionale des opérations intégrées du Saguenay Lac-Saint-Jean, a pris l'initiative de planifier le rémesurage en 2008 des parcelles du dispositif du lac Caopatina reboisées avec des plants d'épinette noire et de pin gris cultivés en récipients 45-110. Un autre dispositif opérationnel du même genre, situé près de Chibougamau, a été

mesuré en 2009 (Walsh et Lord 2011) ; ce dispositif a également été mesuré en 2014.

Ce rapport poursuit trois objectifs :

- 1-) Comparer la hauteur, le DHP et le volume de la tige des plants d'épinette noire et de pin gris reboisés sur les différents microsites créés par le Bräcke-monticule.
- 2-) Évaluer les différences de croissance possibles en fonction des différents microsites.
- 3-) Faire une prévision à long terme du volume marchand à partir du calcul des IQS pour les différents microsites.

Notre hypothèse est que le monticule formé par le Bräcke-monticule est plus favorable à la croissance des épinettes noires et des pins gris que les autres microsites : le fond du poquet, l'épaule ou le sol non-perturbé.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Plantation et dispositif expérimental

Le dispositif opérationnel mis en place en 1985 est situé au nord du lac Caopatina dans le canton Hazeur, sur le territoire de la compagnie Barette-Chapais (Figure 2). Le site de plantation est situé sur un till glaciaire indifférencié de plus d'un mètre (1A), plat (A), au drainage imparfait (40) (Tableau 1). La texture du sol est un loam sableux sous un humus de 6 cm d'épaisseur recouvert de mousses hypnacées. Le site a été récolté en 1979 par une coupe à blanc et les

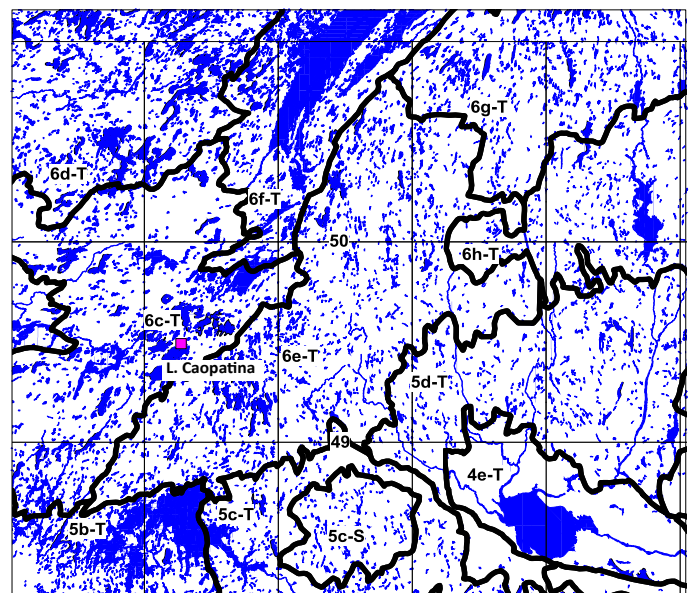


Figure 2. Localisation du site Caopatina dans le parc de Chibougamau.

Tableau 1. Caractéristiques du site Caopatina.

Carte	Lat.	Long.	Année de la		Type			
			plantation	Drainage	Pente	Dépôt	écologique	Clé finale*
32G07NE	49 29'31"N	74 43'32"O	1986	40	A	1A	RE25	32G07NE02 600200213

* : code cartographique des feuillettes des peuplements au MFFP.

tiges débusquées par câble avec ébranchage au chemin. Le peuplement récolté était classé comme une pessière noire EB3 mi. Le scarifiage a été réalisé durant l'été 1985 avec un Bräcke-monticule de première génération, muni de deux roues dentées avec une petite pelle hydraulique à l'arrière.

Les plants de pin gris et d'épinette noire ont été cultivés dans le récipient 45-110 sur deux ans et mesuraient 15 cm de haut en moyenne au moment de la plantation. Le pin gris a été produit à la pépinière de Normandin et l'épinette noire aux Serres Solabri inc. (Plante 1987).

Deux secteurs ont été reboisés : le premier qualifié de «secteur humide», comprenait deux blocs tandis qu'un deuxième, qualifié de «secteur sec», était composé de quatre blocs. Seuls deux blocs du «secteur sec», reboisés avec des plants de pin gris ou d'épinette noire cultivés en récipient 45-110, ont été rémesurés en 2008. Les blocs mesurent chacun 11,5 m x 43,5 m (500 m²). Chaque bloc avait en moyenne 32 poquets par 12 lignes de scarifiage. Les plants d'épinette noire et de pin gris ont été reboisés sur quatre types de microsite; au fond du poquet créé par le Bräcke-monticule (F), à l'épaulement (E), sur le monticule (M) et entre les poquets sur un sol non perturbé (NP) ; ces derniers constituant le traitement témoin (Figure 3). Chaque semis était identifié par une fiche métallique sur laquelle était attachée un ruban de couleur et une étiquette Al-tag où étaient gravées les informations suivantes : au recto, le numéro de la ligne et le numéro du poquet et au verso, le numéro du bloc et le numéro de localisation. Au total, 320 semis ont été effectivement plantés par bloc : 4 microsites x 80 répétitions (Figure 4). La densité à la plantation est donc de 6 400 tiges à l'hectare (Tableau 2).

Les arbres ont été rémesurés en 2008 soit 23 ans après la plantation. On a retrouvé 267 plants d'épinette noire vivants et 288 pins gris (Tableau 2). La hauteur totale a été mesurée au cm près et le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) au mm près.

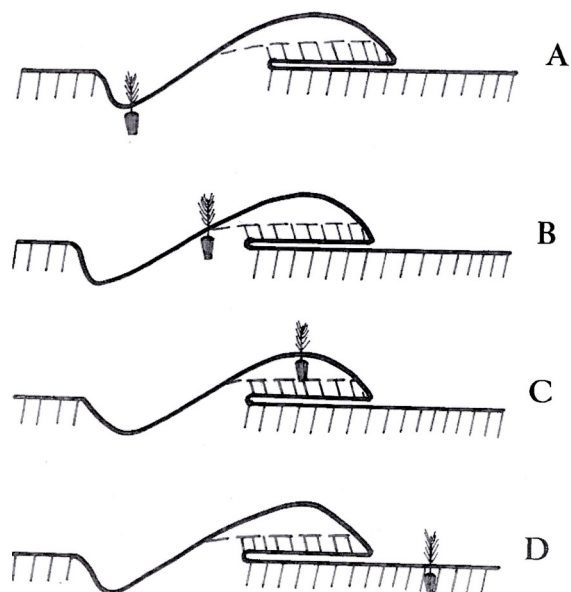


Figure 3. Types de microsite qui ont été reboisés avec des plants d'épinettes noires ou de pins gris. A-) Fond du poquet. B-) Épaulement. C-) Monticule. D-) Non-perturbé.

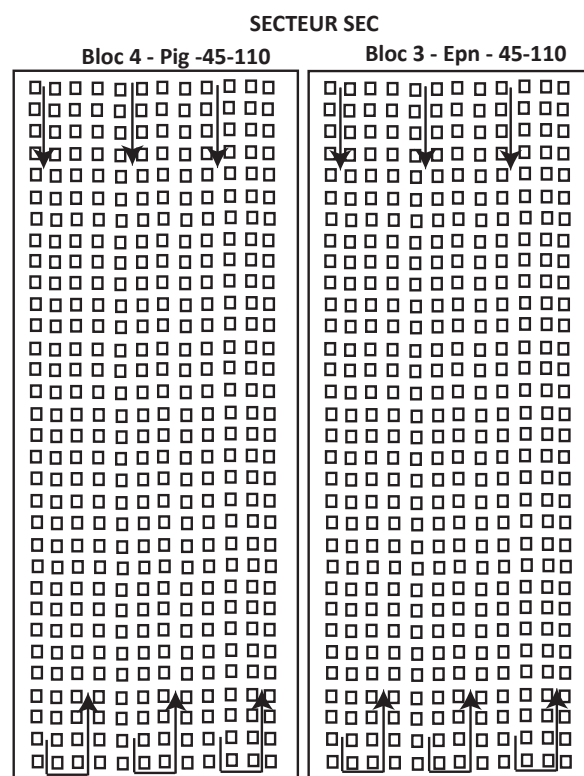


Figure 4. Schéma représentant le dispositif expérimental des deux blocs qui ont été mesurés en 2008; □ = poquet, → chemin du Bräcke; la position des microsites est aléatoire à travers les lignes.

Tableau 2. Densité des arbres sur les blocs 3 et 4 du dispositif du lac Caopatina.

Bloc	Essence	Type	Surface (m ²)	Densité de plantation	2008		
					Arbres vivants	Densité (Arbres/ha)	Espacement moyen (m)
3	Epn	45-110	500	6400	267	5340	1,4
4	Pig	45-110	500	6400	288	5760	1,3

Analyses statistiques

Hauteur, DHP et volume de tige

Le volume de la tige des épinettes noires a été calculé à partir de la formule d'un parabolöide décrite dans Forslund et Paterson (1994):

$$V_{DHP} = 1/2 (1 - 1,3/H)^{-1} \pi (DHP^2/4) H C$$

où
 V_{DHP} : Volume (dm³).

H : Hauteur de l'arbre (m).

DHP : Diamètre à hauteur de poitrine (cm).

C : une constante égale à 0,1 pour obtenir des unités de volume en dm³.

Le volume de la tige des pins gris a été calculé à partir de la formule d'un cône décrite dans Forslund et Paterson (1994):

$$V_{DHP} = 1/3 (1 - 1,3/H)^{-2} \pi (DHP^2/4) H C$$

où
 V_{DHP} : Volume (dm³).

H : Hauteur de l'arbre (m).

DHP : Diamètre à hauteur de poitrine (cm).

C : une constante égale à 0,1 pour obtenir des unités de volume en dm³.

Une analyse de variance a été utilisée pour comparer la hauteur, le DHP et le volume des tiges des arbres reboisés sur les quatre microsites pour chaque essence séparément. Cette analyse a été suivie d'un test de comparaisons multiples du T de Student pour déterminer les différences significatives entre les microsites à $P = 0,05$ (Kirk, 1982; Saville, 1990). Le graphique de la distribution des résidus en fonction des valeurs prévues a été utilisé pour vérifier l'homoscédasticité des données (Quinn et Keough, 2002). La normalité des résidus a été vérifiée en utilisant le test de Shapiro-Wilk (Shapiro-Wilk et Wilk, 1965). Les données de volume ont été transformées en logarithme naturel pour respecter les prérequis de l'analyse de variance (Quinn et

Keough, 2002). Les moyennes des moindres carrés et les intervalles de confiance des données brutes sont cependant présentés dans les résultats. Toutes les données ont été analysées en utilisant le logiciel JmpPro vs 11.1.1 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

Les gains relatifs de croissance en hauteur, en DHP et en volume ont été calculés par rapport à la moyenne des plants reboisés sur le fond du poquet. Cette position correspond au microsité qui était privilégié à l'époque pour une préparation de terrain TTS :

$$Gain_{var} (\%) = 100 \times \frac{\overline{Var_M} - \overline{Var_F}}{\overline{Var_F}}$$

où

$Gain_{var}$: Gain en % pour la variable var = hauteur, DHP, volume.

$\overline{Var_M}$: moyenne de la variable mesurée sur le monticule.

$\overline{Var_F}$: moyenne de la variable mesurée sur le fond du sillon

IQS et volume prédit

Épinette noire

Les dix épinettes noires les plus hautes, correspondant aux 200 plus hautes tiges à l'hectare, ont été choisies par type de microsité, pour calculer la hauteur des arbres dominants. L'indice de qualité de station (IQS) a été calculé par la formule suivante tirée de Prégent, Bertrand et Charette (1996) :

$$IQS = \frac{H_{do}}{0,003613279(Age^{1,904730104})0.980710034Age}$$

où

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

H_{do} : Hauteur dominante (m).

Âge : Âge total (années en pépinière et en plantation).

Les IQS pour les plants d'épinette noire reboisés sur le fond du poquet et sur le monticule ont été comparés aux IQS des 41 plantations d'épinette noire situées dans les domaines écologiques de la pessière noire et colligées par [Prégent et Végiard \(2000\)](#). Le classement par rang quantile a été calculé par rapport à cette population. Un test Z a servi à comparer ces deux moyennes à la population décrite par ces auteurs.

Les formules suivantes ont été utilisées pour calculer la surface terrière prédite, le volume total prédit et le volume marchand prédit ([Prégent, Bertrand et Charette, 1996](#)) :

$$Gt = \left[\begin{array}{l} -0,186304 + 0,866568Hd \\ -0,025474Hd^2 - 0,483665esp \end{array} \right]^2 - 1$$

où

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

Hd : Hauteur dominante (m).

esp : Espacement initial moyen entre les plants (m).

$$Vt = \left[\begin{array}{l} -0,696772 + 0,319922Gt + 0,464719Hd \\ -0,010687Gt Hd + 0,274384 esp \end{array} \right]^2$$

$$Vm = -55,651588 + 0,851779 Gt - 0,008986 Hd + 0,248131 Gt Hd + 20,775526 esp$$

où

Vt : Volume total prédit (m³/ha).

Vm : Volume marchand prédit (m³/ha).

Gt : Surface terrière totale (m²/ha).

Hd : Hauteur dominante (m).

esp : Espacement initial moyen entre les plants (m).

L'extrapolation du volume marchand jusqu'à 60 ans a été faite en suivant la méthode décrite dans [Prégent, Bertrand et Charette \(1996\)](#). Brièvement, le volume marchand a été calculé jusqu'à 35 ans puis, afin d'éviter la baisse soudaine de volume marchand causé par l'extrapolation du modèle jusqu'à 60 ans, l'accroissement annuel moyen en volume marchand a été maintenu constant à partir de l'âge auquel l'accroissement atteint une valeur maximale, et ce, jusqu'à 60 ans.

Pin gris

Les douze arbres dominants ont été sélectionnés pour cal-

culer l'IQS à 15 ans comme prescrit par [Bolghari et Bertrand \(1984\)](#):

$$IQS = Hr \frac{Hob + \frac{Cve}{Cvr} He - He}{\frac{Cve}{Cvr} He}$$

où

IQS : Indice de qualité de station à 15 ans (m).

Hr : Hauteur dominante à l'âge de référence (15 ans). Elle est estimée à partir de la relation âge-hauteur dominante développée pour chaque essence.

Hob : Hauteur dominante observée (m).

Cve : Coefficient de variation de la hauteur dominante estimé en fonction de l'âge et calculé à partir des équations développées pour cette fin.

He : Hauteur dominante à un âge donné. Elle est estimée à l'aide de l'équation générale âge-hauteur.

Cvr : Coefficient de variation de la hauteur dominante à l'âge de référence (15 ans), estimé à partir de la même équation utilisée pour calculer *Cve*.

$$H = -1,345 + 0,520409.$$

$$CV = \frac{1}{6,2251 - 17,744 \cdot 0,7635^A}$$

H : Hauteur (m).

Cv : Coefficient de variation.

A : Âge total des arbres (années en plantation + 2 ans en pépinière).

Les formules suivantes ont été utilisées pour calculer la surface terrière prédite, le volume total prédit et le volume marchand prédit ([Bolghari et Bertrand, 1984](#)):

$$Gt = -16,586 + 1,2264 \cdot A + 2,8767 \cdot IQS - 4,0034 \sqrt{esp}$$

$$Vt = -1,301 + 2,873 \cdot Gt + 0,148 \cdot Gt \cdot H$$

$$Vm = -18,847 + 90,092/Vt + 0,919 \cdot Vt$$

où

IQS : Indice de qualité de station à 15 ans (m).

esp : Espacement entre les plants (m x m).

Gt : Surface terrière totale du peuplement (m²/ha), arbres de plus de 1,5 cm de DHP.

A : Âge total des arbres : années en plantation + 2 ans en pépinière.

H : Hauteur (m).

Vt : Volume total du peuplement (m³/ha).

Vm : Volume marchand (m³/ha), diamètre minimum d'utilisation de 9 cm.

L'extrapolation du volume marchand jusqu'à 40 ans a été faite en suivant la méthode décrite dans Bolghari et Bertrand (1984). Les courbes ont été tracées pour les quatre microsites étudiés.

RÉSULTATS

Épinette noire

Les analyses de variance (ANOVA) montrent des différences significatives entre les microsites de plantations pour les variables suivantes: la hauteur de l'arbre, son DHP et le logarithme naturel du volume de la tige (Tableau 3). La hauteur des plants d'épinette noire reboisés sur le monticule créé par le Bräcke-monticule ne différait pas significativement de la hauteur de ceux plantés sur l'épaulement du poquet même si en moyenne, les premiers dépassaient les seconds de 30 cm (Tableau 4). Les plants reboisés sur ces deux microsites étaient significativement plus grands que ceux reboisés au fond du poquet ou entre ceux-ci (Tableau 4). Le gain relatif en hauteur après 23 ans en plantation serait de 29% si tous les plants avaient été reboisés sur le monticule plutôt que dans le fond du sillon (Figure 5). Le DHP des

Tableau 3. Analyse de variance de la hauteur, du DHP et du volume de la tige des épinettes noires reboisées sur les différents microsites.

Variable	Source	d.l.	S.C.	C.M.	Rapport F	Prob. > F
Hauteur	Microsite	3	28	9,3	5,5	0,001
	Erreur	263	442	1,7		
DHP	Microsite	3	28	9,3	3,5	0,02
	Erreur	231	617	2,7		
Volume	Microsite	3	5	1,6	3,3	0,02
	Erreur	231	112	0,5		

Tableau 4. Hauteur, DHP et volume moyen de la tige des épinettes noires cultivées en récipients 45-110 et reboisées sur le site du lac Caopatina (Bloc 3), 23 ans après le reboisement. Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes à P < 0,05 (Test de T de Student).

Microsite	N	Gain		Gain		N	Gain	
		Hauteur (m)	(%)	DHP (cm)	(%)		Volume (dm ³)	(%)
Non-perturbé	52	2,7 ± 0,4 b	1	2,4 ± 0,5 c	-4	45	2,2 ± 1,0 c	23
Fond	73	2,7 ± 0,3 b	0	2,5 ± 0,4 bc	0	58	1,8 ± 0,9 bc	0
Épaulement	88	3,2 ± 0,3 a	20	3,0 ± 0,4 ab	21	79	3,0 ± 0,8 ab	68
Monticule	54	3,5 ± 0,3 a	29	3,2 ± 0,4 a	31	53	3,6 ± 1,0 a	105

plants reboisés sur les monticules était lui aussi plus grand que celui des plants reboisés au fond du poquet (Tableau 4). Le gain potentiel était de 31% par rapport à une plantation traditionnelle sur le fond du poquet (Figure 5). La même tendance s'observe aussi pour le volume de la tige : celle-ci était nettement supérieure à celle des plants sur le fond du poquet et le gain escompté serait de 105% par rapport à une plantation traditionnelle, 23 ans après la plantation (Tableau 4; Figure 5).

Les arbres dominants sur les monticules mesuraient en moyenne 5,4 m (Tableau 5). Ceux plantés au fond des poquets ne mesuraient que 4,5 m de hauteur. L'IQS calculé à 25 ans est donc de 5,3 m pour les premiers comparativement à 4,4 m pour les seconds (Tableau 5). Les IQS des arbres reboisés sur le monticule et dans le fond du poquet sont toutes les deux significativement plus basses que la moyenne de la population des plantations d'épinette noire

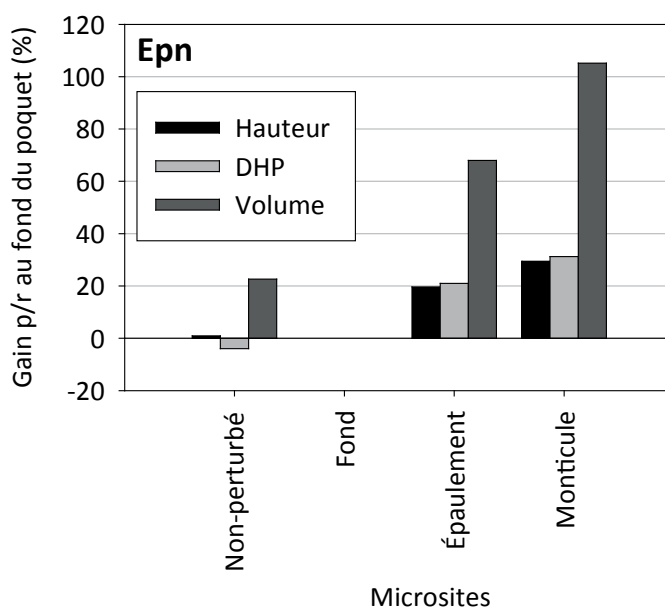


Figure 5. Gains réalisés en 2008, 23 ans après la plantation, pour la hauteur, le DHP et le volume de la tige en plantant l'épinette noire sur le monticule, sur l'épaulement ou entre les poquets (non perturbé) par rapport à la plantation sur le fond du poquet.

Tableau 5. Résultats dendrométriques des arbres des blocs 3 et 4 du dispositif du lac Caopatina en 2008.

Essence (années) dominants	Âge total (années)	Nb dominants	Nb tiges* (/ha)	Espacement moyen (m)	Microsite	Hauteur		DHP dominant (cm)	IQS** (m)	Surface		Volume	
						dominante (m)	Hauteur moyenne (m)			terrière calculée*** (m ² /ha)	terrière calculée*** (m ² /ha)	total calculé*** (m ³ /ha)	marchand calculé*** (m ³ /ha)
Epn	25	10	4900	1,4	Non-perturbé	4,8	2,7	5,0	4,7	7,6	16	0	
					Fond	4,5	2,7	4,1	4,4	6,5	13	0	
					Épaulement	5,5	3,2	5,5	5,4	10,2	24	0	
					Monticule	5,4	3,5	6,0	5,3	10,0	23	0	
Pig	25	12	5700	1,3	Non-perturbé	6,4	4,8	7,4	3,4	18,7	70	47	
					Fond	7,4	5,3	9,1	4,0	20,4	80	56	
					Épaulement	7,7	5,8	9,3	4,2	20,9	82	58	
					Monticule	8,4	6,6	11,4	4,6	22,0	89	64	

*: nombre de tiges vivantes de plus de 1,3 m de hauteur par hectare.

** : IQS de l'épinette noire est à 25 ans et celui du pin gris, à 15 ans.

*** : ces variables ont été calculées selon les formules de Prégent et al. (1996) pour l'épinette noire et celles de Bolghari et Bertrand (1984) pour le pin gris.

situées dans les domaines écologiques de la pessière noire (Prob. > Z, < 0,002) (Figure 6). Par rapport à cette population, les épinettes noires reboisées dans le fond du poquet occupent le douzième quantile et ceux sur le monticule, le trentième.

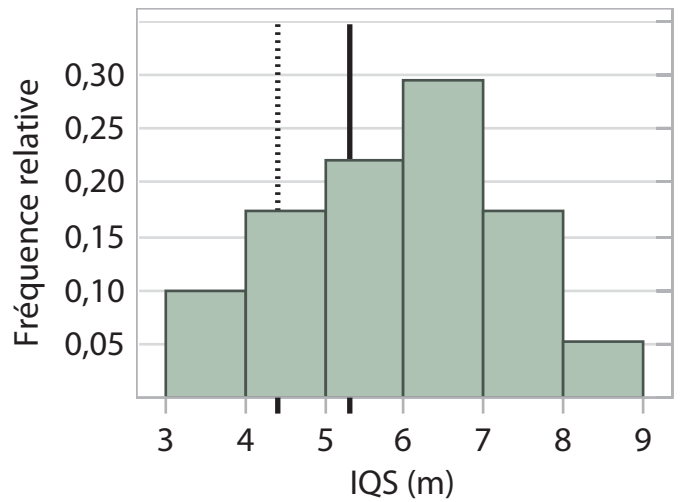


Figure 6. Distribution des fréquences relatives des placettes d'épinette noire mesurées dans les domaines écologiques de la pessière noire par Prégent et Végiard (2000). La ligne pointillée correspond à l'IQS des plants d'épinette noire plantés au fond du poquet et la ligne continue, à l'IQS de ceux plantés sur un monticule du Bracke dans le dispositif du lac Caopatina.

Le volume total prédit à 23 ans des plants reboisés sur l'épaulement est de 24 m³/ha et de 23 m³/ha pour ceux reboisés sur le monticule tandis que le volume marchand était nul à cette date (Tableau 5). La figure 7 montre les courbes de croissance du volume marchand prédit jusqu'à 60 ans pour les épinettes noires situées sur les quatre microsites à l'espacement moyen de 1,4 m retrouvés en 2008 lors du ré-mesurage. Les arbres reboisés sur le monticule ou à l'épaulement de celui-ci ont des courbes pratiquement identiques et l'on peut prévoir pour des plantations d'épinette noire de ce type un volume marchand à 60 ans de 148 et 153 m³/ha respectivement (Figure 7). Par contre, le volume marchand

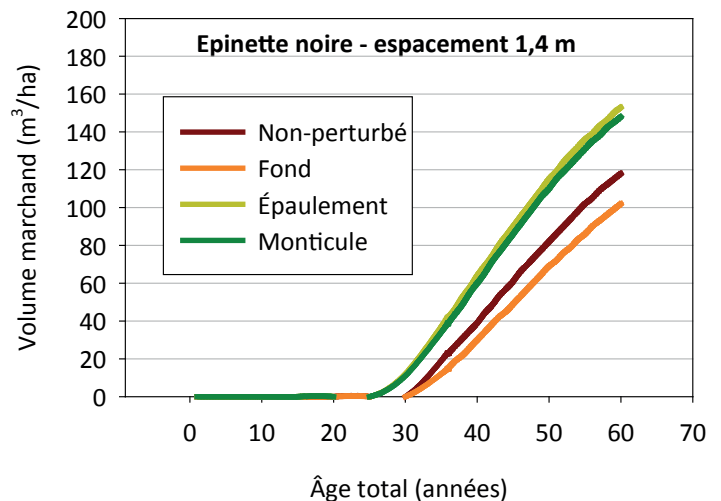


Figure 7. Volume marchand de l'épinette noire prédit par les équations de Prégent et coll. (1996) pour les plants reboisés sur différents microsites à un espacement de 1,4 m.

prédit à 60 ans pour des plants d'épinette noire reboisés dans le fond d'un poquet serait que de 102 m³/ha (**Figure 7**).

Pin gris

Comme dans le cas de l'épinette noire, les analyses de variance (ANOVA) montrent pour le pin gris des différences significatives entre les microsites de plantations pour les variables, hauteur et logarithme naturel du volume de la tige (**Tableau 6**). Les plants de pin gris reboisés sur les différents microsites créés par le Bräcke-monticule différaient tous entre eux par la hauteur moyenne, le DHP ou le volume de la tige (**Tableau 6**; $P < 0,0001$). Les plants les plus hauts étaient dans l'ordre ceux plantés sur le monticule, suivis de ceux sur l'épaulement et de ceux au fond du poquet ou entre les poquets (**Tableau 5**). On retrouve le même ordre pour le DHP et le volume de la tige (**Tableau 5**). Le gain relatif en hauteur après 23 ans en plantation serait de 24% lorsque les plants sont reboisés sur le monticule plutôt que dans le fond du sillon, celui en diamètre de 44% et celui en volume de 96% (**Tableau 7**; **Figure 8**).

Les pins gris reboisés entre les poquets avaient les IQS à 15 ans plus faibles, soit 3,4 m tandis que ceux reboisés sur les monticules étaient plus élevés, soit 4,4 m (**Tableau 5**). Le volume marchand prédit à 25 ans variait entre 47 m³/ha pour une plantation entre les poquets et 64 m³/ha pour une

Tableau 6. Analyse de variance de la hauteur, du DHP et du volume de la tige des pins gris reboisés sur les différents microsites.

Variable	Source	d.l.	S.C.	C.M.	Rapport F	Prob. > F
Hauteur	Microsite	3	117	39,1	21	< 0,0001
	Erreur	284	540	1,9		
DHP	Microsite	3	516	172,1	33	< 0,0001
	Erreur	284	1466	5,2		
Volume	Microsite	3	45,83	15	30	< 0,0001
	Erreur	284	145	1		

Tableau 7. Hauteur, DHP et volume moyen de la tige des pins gris cultivés en récipients 45-110 et reboisés sur le site «Plante» (Bloc 4), 23 ans après le reboisement. Les moyennes suivies de lettres différentes sont significativement différentes à $P < 0,05$ (Test de T de Student).

Microsite	N	Gain		Gain		Gain	
		Hauteur (m)	(%)	DHP (cm)	(%)	N Volume (dm ³)	(%)
Non-perturbé	54	4,8 ± 0,4 c	-9	4,9 ± 0,6 d	-18	53 7,1 ± 2,6 d	-37
Fond	73	5,3 ± 0,3 c	0	6,0 ± 0,5 c	0	73 11,2 ± 2,2 c	0
Épaulement	80	5,8 ± 0,3 b	8	6,9 ± 0,5 b	16	78 14,2 ± 2,2 b	27
Monticule	81	6,6 ± 0,3 a	24	8,6 ± 0,5 a	44	81 22,1 ± 2,1 a	96

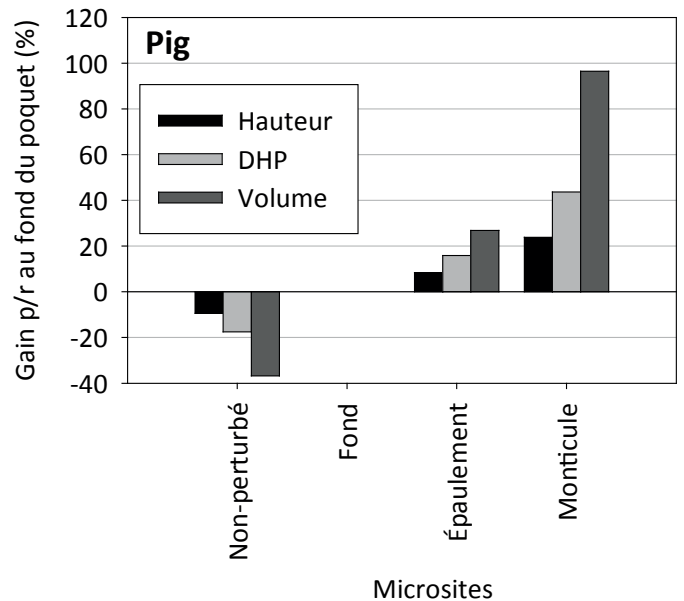


Figure 8. Gains réalisés en 2008 par le pin gris, 23 ans après la plantation, pour la hauteur, le DHP et le volume de la tige en plantant sur le monticule, sur l'épaulement ou entre les poquets (non perturbé) par rapport à la plantation sur le fond du poquet.

plantation sur les monticules (**Tableau 5**). Le volume marchand à 40 ans serait de 132 m³/ha pour les plants reboisés sur le sol non perturbé, 148 m³/ha pour ceux reboisés dans le fond du poquet, 154 m³/ha à l'épaulement et 165 m³/ha sur le monticule (**Figure 9**).

DISCUSSION ET CONCLUSION

Les trois variables mesurant la croissance, la hauteur, le DHP et le volume de la tige montrent tous les trois qu'il y aurait des gains appréciables en ce qui concerne le rendement des plantations lorsque les plants sont plantés sur les monticules créés par le Bräcke (**Tableaux 4 et 7**; **Figures 5 et 8**). Le fond du poquet a été choisi comme microsite de référence pour le calcul des gains puisqu'il correspond au microsite de plantation le plus souvent utilisé pour le reboisement, soit le fond d'un sillon créé par un scarificateur à disques. Aujourd'hui, on privilégie l'épaulement (**Thiffault 2005**).

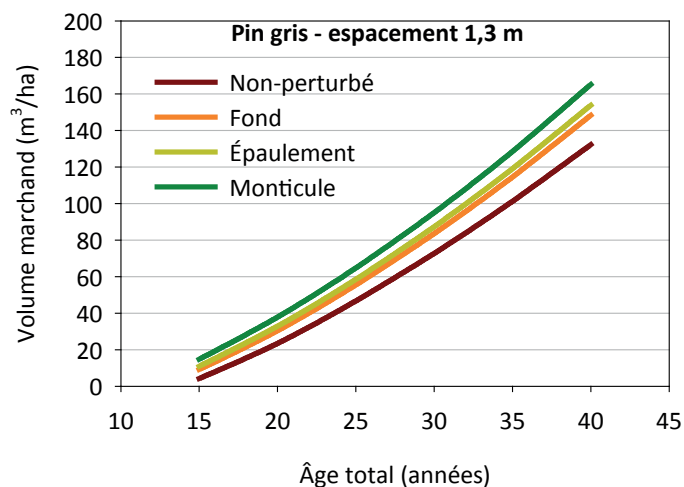


Figure 9. Volume marchand du pin gris prédit par les équations de Bolghari et Bertrand (1984) pour les plants reboisés sur différents microsites à un espacement de 1,3 m.

La plantation sur le sol non perturbé par le passage du Bräcke, qui est ici notre microsite témoin, est fréquemment utilisé pour le regarni des CPRS ; cependant, en l'absence de scarifiage, la croissance des plants d'épinette noire est réduite de 18 % comparativement aux sites préparés par un scarificateur à disques (Prévost et Dumais 2003).

Les gains en hauteur, en DHP et en volume de la tige sont moins importants que ceux observés sur un autre site plus au nord, près du lac Chibougamau, qui lui aussi a été reboisé avec des plants d'épinette noire après une préparation de terrain réalisée par un Bräcke-monticule (Walsh et Lord 2011). Dans ce dernier cas, les gains ont été calculés par rapport à un site préparé par un scarificateur à disques de type TTS. Ce site est du type écologique RE22 tandis que celui du dispositif du lac Caopatina est un RE25 qui est donc moins bien drainé. La différence de fertilité pourrait donc s'expliquer par un moins bon drainage du site du lac Caopatina par rapport à celui du lac Chibougamau. Pour avoir une échelle de comparaison similaire, il faudrait coupler le Bloc 3 du site Caopatina avec un site à proximité, similaire au point de vue des caractéristiques écologiques (Dépot de surface, drainage, pente, texture, etc.) et qui aurait été reboisé avec des plants d'épinette noire en récipient 45-110 après une préparation de terrain au scarificateur à disques. Ce dispositif plus « ambitieux » deviendrait un dispositif à tiroir par bloc [Block Split-Plot Design], l'effet bloc permettant d'extraire la variabilité causée par la variation spatiale entre les deux sites (Potvin 1993; Sit 1995; Quinn et Keough 2002; Oehlert 2010).

La densité de la plantation très élevée a pu aussi affecter la croissance des arbres. Il faut donc tenir compte dans l'interprétation des résultats, de la densité de plantation très élevée dans ce dispositif « opérationnel », puisqu'au total pour chaque bloc, 320 plants ont été reboisés sur une superficie de 500 m² environ (Tableau 2). La densité initiale est trois fois plus élevée que la densité généralement visée dans une plantation « normale ». La densité en 2008 était plus faible à cause de la mortalité et possiblement d'une éclaircie. On obtient quand même en 2008, un espacement moyen de 1,3 à 1,4 m entre les plants. Cette valeur est faible comparativement à l'espacement standard de 2 m entre les plants et de 2,5 m entre les rangées de plants (Dancause 2008).

La densité de la plantation n'influence pas généralement la hauteur dominante et donc l'IQS, mais le DHP diminue lorsque le nombre de tiges par hectare augmente (Thiffault et coll. 2003). Donc, malgré la forte densité résiduelle des tiges mesurées en 2008, les valeurs d'IQS peuvent être considérées comme fiables. Si l'on compare cette plantation aux plantations d'épinette noire du domaine de la pessière noire, on voit que la fertilité de cette station définie par la valeur de l'IQS est en deçà de la moyenne de 6 m à 25 ans qui a été calculée par Prément et Végiard (2000). Si l'on choisit dans cette population uniquement les placettes situées dans la région limitrophe de Chibougamau-Chapais (voir Figure 1 dans Prément et Végiard (2000)), l'IQS moyen de 5,8 m à 25 ans des plants d'épinette noire sur monticule du site Caopatina s'insère dans l'intervalle de confiance de cette population et ce site est donc représentatif de la région Chibougamau-Chapais et la plantation sur monticule reflète mieux la « fertilité » de cette région.

Il faut quand même être prudent dans l'extrapolation des résultats pour plusieurs raisons :

- Le dispositif opérationnel Caopatina n'a pas de vraie répétition, puisque les mesures sur les différents microsites, même si elles sont très nombreuses, ne sont pas indépendantes (Voir Hurlbert (1984) et Johnson (2006) pour comprendre le concept de « répétitions » et « pseudo-répétitions »).
- Les tables de rendement actuelles, celle pour l'épinette noire (Prément, Bertrand et Charette 1996) et celle pour

le pin gris (Bolghari et Bertrand 1984) sont basées sur des mesures de plantations situées dans la portion méridionale du Québec et il n'est pas certain que les plantations plus nordiques implantées dans le domaine de la pessière noire donneront le même rendement que celle du sud du Québec pour un IQS identique.

- L'utilisation des modèles et des tables de rendement n'est pas recommandée pour les espacements, les âges et les indices de qualité de station compris à l'extérieur des diverses classes présentées dans ces tables et la précision des prédictions diminue avec l'éloignement des valeurs maximales observées (Prégent, Bertrand et Charette 1996). C'est particulièrement le cas pour l'épinette noire où il n'y a pas de table de rendement pour des IQS plus petits que 6 m à 25 ans et où le plus petit espacement initial moyen est de 1,5 m. Les tables de rendement de Bolghari et Bertrand (1984) ont été calculées pour des IQS à 15 ans entre 3 et 7 m et des espacements variant de 1,5 x 1,5 m à 2,75 x 2,75 m.
- Vu la faible abondance de « vieilles plantations » d'épinette noire lorsque les tables de rendement ont été publiées, le volume marchand entre 36 et 60 ans doit être extrapolé : il s'agit donc, comme le mentionne Bolghari et Bertrand (1984) de valeurs hypothétiques qui doivent être utilisées avec prudence et qui ne pourront être confirmées ou précisées que lorsque le nombre de plantations de plus de 50 ans sera appréciable.

Les gains relatifs par la méthode de plantation sur monticule sont déjà appréciables pour des plants âgés de 25 ans et devraient même s'accroître avec la fermeture du peuplement. Ces résultats démontrent le fait que le type et la qualité de la préparation de terrain ont une forte influence sur l'IQS de la station et qu'il est important d'utiliser la meilleure machinerie disponible si l'on veut augmenter le rendement des plantations. La préparation de terrain par Bräcke-monticule serait une avenue prometteuse pour augmenter la production forestière en réduisant les périodes de rotations tant pour l'épinette noire que pour le pin gris.

RÉFÉRENCES

- Boateng J.O., Heineman J.L., McClarnon J. et Bedford L. 2006. Twenty year responses of white spruce to mechanical site preparation and early chemical release in the boreal region of northeastern British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research*, 36 : 2386-2399.
- Boateng J.O., Heineman J.L., Bedford L., Harper G.J. et Nemecek A.F.L. 2009. Long-term effects of site preparation and postplanting vegetation control on *Picea glauca* survival, growth and predicted yield in boreal British Columbia. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 24 : 111-129.
- Bolghari H.A. et Bertrand V. 1984. Tables préliminaires de production des principales essences résineuses plantées dans la partie centrale du sud du Québec. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Service de la recherche (Terres et Forêts), Québec, Mémoire de recherche forestière no 79, 392 p.
- Boulay É. 2015. Ressources et industries forestières - portrait statistique, édition 2015. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Ste-Foy, Québec.
- Brand D.G. 1991. The establishment of boreal and sub-boreal conifer plantations - an integrated analysis of environmental conditions and seedling growth. *Forest Science*, 37 : 68-100.
- Buitrago M. 2014. La variabilité des conditions du microsite affecte la réponse initiale des plants de mélèze hybride en plantation. UQAM, Montréal, 57 p.
- Buitrago M., Paquette A., Thiffault N., Bélanger N. et Messier C. 2015. Early performance of planted hybrid larch: effects of mechanical site preparation and planting depth. *New Forests*, 46 : 319-337.
- Dancause A. 2008. Le reboisement au Québec. Les Publications du Québec, Québec, 177 p.
- 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 : 762-767.
- Haeussler S. 1989. Mounding for site preparation. BC Ministry of Forests, Victoria, FRDA Memo no. 100, 12 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*,

- Hurlbert S.H. 1984. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological Monographs*, 54 : 187-211.
- Johnson D.H. 2006. The many faces of replication. *Crop Science*, 46 : 2486-2491.
- Marek K.I. 1986. Growth of *Pinus contorta* Dougl. on three microsites produced by the Bräcke moulder on three site types in Northern Sweden. Lakewood University School of Forestry, Thunder Bay, 59 p.
- Plante M. 1987. Plantation sur terrain scarifié au Bräcke monticule. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Province de Québec. Rapport technique et financier - Projet 261-86-057, 12 p.
- Potvin C. 1993. ANOVA : experiments in controlled environments. *Dans* : Scheiner S. M. et Gurevitch J. éd. Design and analysis of ecological experiments. Chapman & Hall, New York, p. 46-68.
- 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. Note de recherche forestière no 109, 12 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, Mémoire de recherche forestière no 118, 70 p.
- Prescott C.E., Maynard D.G. et Laiho R. 2000. Humus in northern forests: friend or foe? *Forest Ecology and Management*, 133 : 23-36.
- Prévost M. 1992. Effets du scarifiage sur les propriétés du sol, la croissance des semis et la compétition : revue des connaissances actuelles et perspectives de recherche au Québec. *Annales des Sciences Forestières*, 49 : 277-296.
- Prévost M. 1996. Effets du scarifiage sur les propriétés du sol et l'ensemencement naturel dans une pessière noire à mousses de la forêt boréale québécoise. *Canadian Journal of Forest Research*, 26 : 72-86.
- Prévost M. et Dumais D. 2003. Croissance et statut nutritif de marcottes, de semis naturels et de plants d'épinette noire à la suite du scarifiage: Résultats de 10 ans. *Canadian Journal of Forest Research*, 33 : 2097-2107.
- Quinn G.P. et Keough M.J. 2002. Experimental design and data analysis for biologists. University Press, Cambridge, UK, 537 p.
- Ryans M. et Sutherland B. 2001. Site preparation - mechanical. *Dans* : Wagner R. G. et Colombo S. L., éd. Regenerating the canadian forest : principles and practice for Ontario. Fitzhenry & Whiteside, Markham, p. 177-199.
- Sit V. 1995. Analyzing ANOVA designs. B.C. Ministry of Forests, Victoria, B.C., 60 p.
- Sutherland B.J. 1989. An evaluation of mound formation by the Bräcke moulder in Interior British Columbia. Forestry Canada, Great Lakes Forestry Centre, Sault Sainte-Marie, Ontario, Canada. 19 p.
- Thiffault N. 2005. Choix d'un microsite sur sol scarifié en forêt boréale - quelques remarques. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Sainte-Foy (Québec), 6 p.
- Thiffault N., Titus B.D. et Munson A.D. 2005. Silvicultural options to promote seedling establishment on *Kalmia-Vaccinium*-dominated sites. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 20 : 110-121.
- Thiffault N., Cyr G., Prégent G., Jobidon R. et Charette L. 2004. Régénération artificielle des pessières noires à éricacées: effets du scarifiage, de la fertilisation et du type de plants après 10 ans. *Forestry Chronicle*, 80 : 141-149.
- Thiffault N., Roy V., Prégent G., Cyr G., Jobidon R. et Ménétrier J. 2003. La sylviculture des plantations résineuses au Québec. *Le Naturaliste canadien*, 127 : 63-80.
- Walsh D. et Lord D. 2011. Effet du microsite sur la croissance de l'épinette noire plantée après scarifiage au Bräcke ou au TTS - Bilan de 22 ans après la plantation. UQAC, Consortium de recherche sur la forêt boréale commerciale, Chicoutimi, Québec, 15 p.

