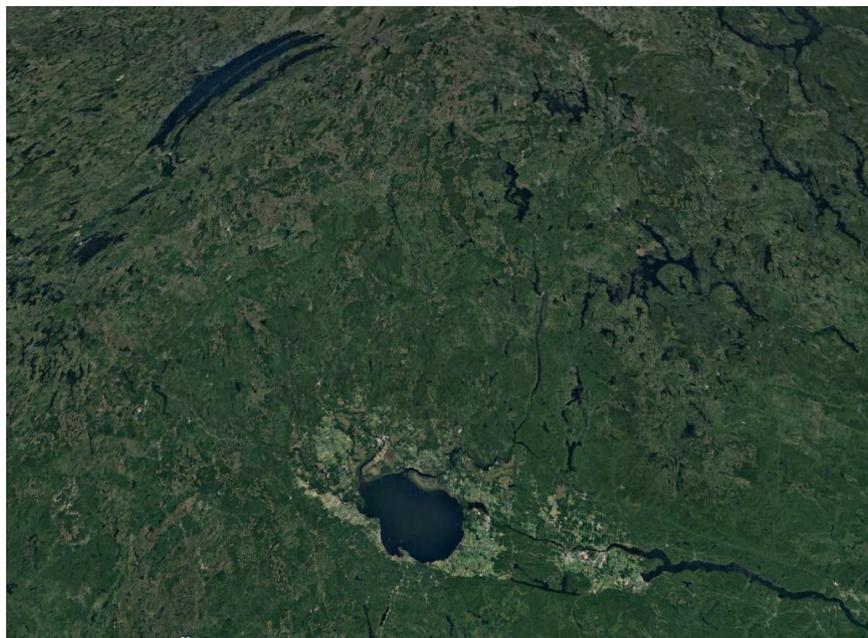


**LA PLANTATION SUR MONTICULE, UN MOYEN EFFICACE POUR  
AUGMENTER LA PRODUCTIVITÉ DE LA FORÊT BORÉALE**

*– Bilan d'une plantation d'épinettes noires de 30 ans  
située près du lac Chibougamau*

**Par  
Denis Walsh  
et  
Cornélia Krause**



**Publié par**

**UQAC**

Université du Québec  
à Chicoutimi

**En collaboration avec**

**Forêts, Faune  
et Parcs**

**Québec** 

**Juillet 2016**

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.

TITRE :

**LA PLANTATION SUR MONTICULE, UN MOYEN EFFICACE POUR  
AUGMENTER LA PRODUCTIVITÉ DE LA FORÊT BORÉALE**

*– Bilan d'une plantation d'épinettes noires de 30 ans  
située près du lac Chibougamau*

Par :

Denis Walsh, M. Sc., professionnel de recherche  
Université du Québec à Chicoutimi  
Département des Sciences fondamentales  
555, boul. de l'Université  
Chicoutimi, Québec, Canada, G7H 2B1  
418-545-5011 poste 2195  
[Denis\\_Walsh@uqac.ca](mailto:Denis_Walsh@uqac.ca)

Cornélia Krause, Ph. D., professeure-chercheur  
Université du Québec à Chicoutimi  
Département des Sciences fondamentales  
555, boul. de l'Université  
Chicoutimi, Québec, Canada, G7H 2B1  
418-545-5011 poste 5295  
[Cornelia\\_Krause@uqac.ca](mailto:Cornelia_Krause@uqac.ca)

Collaboratrice :

Audrey Murray  
Agente de recherche et de planification socioéconomique  
Responsable régional de la production de semences et de plants  
Direction des opérations intégrées du Saguenay – Lac-St-Jean  
Ministère des Ressources naturelles et de la Faune  
[Audrey.Murray@mffp.gouv.qc.ca](mailto:Audrey.Murray@mffp.gouv.qc.ca)

Université du Québec à Chicoutimi

juillet 2016



## REMERCIEMENTS

Ce travail a été financé par le ministère des Forêts, Faune et Parcs du Québec, direction régionale du Saguenay-Lac-St-Jean. L'auteur est redevable en premier lieu à M. Jean-Pierre Girard, anciennement au Ministère des Forêts, Faune et Parcs, région 02, qui a planifié le remesurage des deux sites étudiés et qui est à l'origine de ce projet. J'adresse aussi mes remerciements à Mme Audrey Murray qui a remplacé M. Girard et qui est maintenant agente de recherche et de planification socioéconomique. Nous remercions aussi M. Pierre-Yves Plourde, professionnel de recherche à l'UQAC qui a réalisé le travail de dendrochronologie.



## RÉSUMÉ

Cette étude compare après 30 ans la croissance et le rendement d'une plantation d'épinettes noires reboisées sur différents microsites formés par le passage soit d'un scarificateur Bräcke ou d'un scarificateur à disques TTS. Les deux sites sont localisés sur la même unité physiographique dans la pessière à mousses de l'Ouest tout près de Chibougamau. Le dispositif n'a pas été construit à l'origine pour permettre les comparaisons statistiques entre les deux traitements de préparation de terrain étant donné l'absence de vraies répétitions; les comparaisons statistiques entre les microsites à l'intérieur de chaque site sont cependant valides. Les gains de croissance des plants du Bräcke par rapport à ceux du TTS sont donc donnés à titre indicatif. La hauteur, le diamètre et le volume de la tige des arbres reboisés sur le monticule formé par le Bräcke étaient significativement plus grands que ceux reboisés à l'épaulement ou dans le poquet. Nous n'avons pas observé de différences significatives entre les plants reboisés dans le fond ou l'épaulement formé par le scarificateur à disques. Après 30 ans en plantation, le gain en volume des plants sur le monticule était de 107% plus élevé comparativement aux plants reboisés après passage du scarificateur à disques TTS. Cette différence s'explique par une croissance radiale annuelle accélérée des plants sur le monticule à partir de la 4<sup>ème</sup> année en plantation sur une période s'étendant sur 19 ans. Le volume marchand prédit par les équations des modèles de prédiction actuels serait supérieur de 53 m<sup>3</sup>/ha à 60 ans pour une plantation d'épinette noire réalisée sur des monticules comparativement à une préparation traditionnelle par un scarificateur à disques.

**Mots-clés** : plantation, épinette noire, picea-mariana, forêt boréale, scarification, scarificateur à disques, TTS, Bräcke, monticule, épaulement, IQS.



## ABSTRACT

This study compares 30 years old black spruce stands planted on different microsites made by a Bräcke moulder or a disk trencher. The two sites are located on the same physiographic unit in the boreal forest near Chibougamau, northeastern Quebec. The experimental design was not planned for comparison between treatments since treatments were not replicated but comparisons between microsites inside each treatment are still valid. Increased yield of mounding treatment compared to the disk trenching treatment are given for information only. Spruce height, diameter and stem volume were significantly larger on Bräcke mound than for seedlings planted in the Bräcke patch or hinge position. Stem growth was not different for the seedlings planted in the furrow or the hinge position in the disk trenching treatment. After 30 years, stem volume of seedlings planted on the Bräcke mound was 107% higher than those in the disk trenching treatment. Annual radial growth of seedlings located on mound has increased faster than those on the disk trenching treatment after a delay of four years and this vigorous growth rate was maintained for at least 19 years. Stand commercial volume was estimated to be 53 m<sup>3</sup>/ha higher after 60 years for the mounding treatment compared to the more conventional disk trenching treatment.

**Key words:** plantation, black spruce, picea-mariana, boreal forest, mechanical site preparation, disk trenching, TTS, Bräcke, mound, hinge position, site index.



## TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	iii
RÉSUMÉ.....	v
ABSTRACT.....	vii
TABLES DES MATIÈRES.....	ix
INTRODUCTION.....	1
MATÉRIEL ET MÉTHODE.....	4
Aire d'étude.....	4
Mesurage réalisé en 2009.....	5
Mesurage réalisé en 2014.....	6
IQS et rendement prédit par les tables de rendement.....	7
Analyses statistiques.....	7
RÉSULTATS.....	7
DISCUSSION.....	9
RÉFÉRENCES.....	12



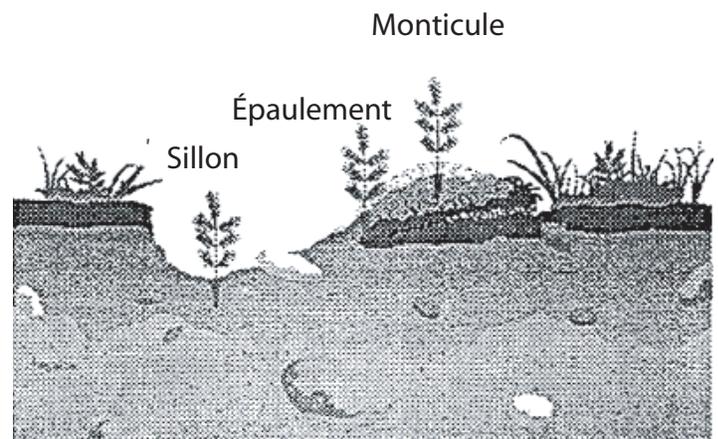
## INTRODUCTION

Au Québec, la pratique actuelle en matière de régénération forestière est de favoriser la régénération naturelle, mais lorsque le reboisement s'avère nécessaire, le scarifiage est largement pratiqué (Prévost 1992). Si la préparation mécanique du sol n'est pas nécessaire pour assurer la croissance de plants de fortes dimensions (PFD) sur les stations des forêts sub-boréales mixtes du sud du Québec (Thiffault et al. 2003a) par contre en forêt boréale, la plantation sur un sol non préparé mécaniquement n'est pas recommandée (Prévost et Dumais 2003, Thiffault et al. 2004, Thiffault et al. 2005, Hébert et al. 2007, Walsh et al. 2012, Hébert et al. 2014). Le scarifiage avant la plantation d'une CPRS ou pour une opération de regarni est un moyen d'améliorer la croissance initiale et le statut nutritif de la régénération naturelle et artificielle d'épinette noire, afin d'accélérer la remise en production des stations de la forêt boréale soumises à la coupe (Prévost et Dumais 2003).

Le choix approprié des microsites lors de la mise en terre des plants est primordial pour la survie et la croissance initiale des plants. 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). Généralement en forêt boréale, les propriétés de l'humus brut le rendent moins efficace que le sol minéral pour retenir et conduire la chaleur. Sa structure lui donne les caractéristiques thermiques d'un isolant. Les conditions microclimatiques à la surface du sol sont les facteurs les plus importants pour la première année de croissance; la scarification affecte positivement la température du sol (Brand 1991). Prévost (1996) a montré qu'en forêt boréale, l'enlèvement de la couche isolante d'humus permet un réchauffement estival important des sillons de scarifiage; ainsi, les températures moyennes mesurées dans des profils de sols scarifiés sont de 5° à 10 °C supérieures à celles mesurées dans des profils de sols témoins non scarifiés. L'effet le plus notable a été d'accélérer le réchauffement printanier du sol.

Une proportion substantielle d'éléments nutritifs s'accumule dans l'humus, spécialement l'azote; cependant, la majorité de l'azote dans l'humus est lié à des molécules complexes qui sont immobilisées et donc non disponibles pour les plantes ou les microorganismes (Prescott et al. 2000). La préparation de terrain par un scarificateur forme des monticules mélangeant l'humus avec le sol minéral accélérant sa décomposition; l'incorporation de la litière dans le monticule cause un enrichissement en éléments minéraux du sol (Prescott et al. 2000). Le mélange de la matière organique au sol minéral favorise la minéralisation des litières et constitue donc un endroit privilégié pour la mise en terre des plants forestiers.

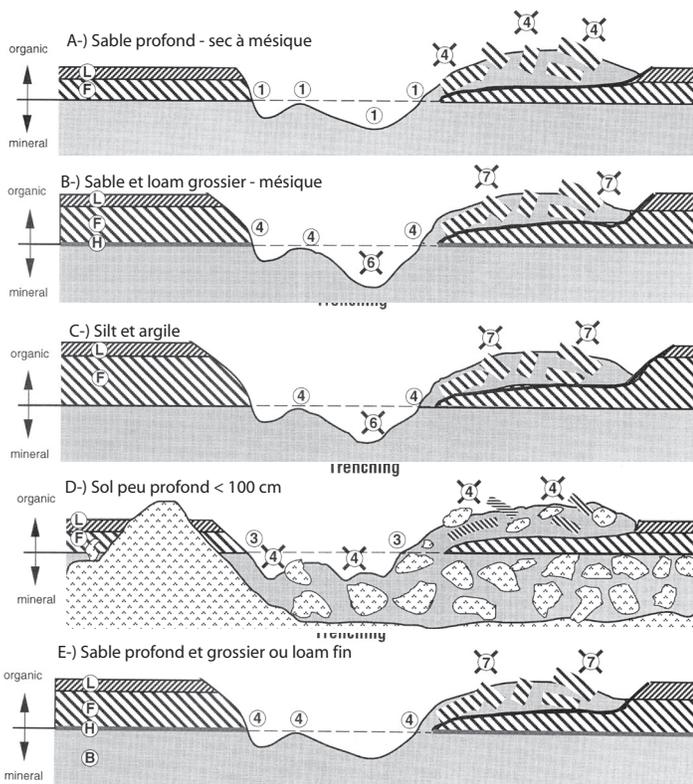
Au Québec, on utilise principalement le scarificateur à disque pour la préparation de terrain avant la plantation. Les surfaces à reboiser, qui ont fait l'objet d'une préparation de terrain dans les forêts publiques québécoises en 2008-2009, étaient les suivantes; 63 168 ha réalisées par scarifiage, 41 505 ha par déblaiement et 5 636 ha par labourage ou par hersage (Boulay 2015). Typiquement, le scarifiage à disques ou à cônes produit un sillon dont le profil peut être divisé en trois positions potentielles de plantation : le fond du sillon, l'épaulement (ou talus) et la butte ou le monticule (Figure 1) (Burton et al. 2000). Dans les sites xériques, le fond du sillon est recommandé, dans les sites mésiques, c'est l'épaulement tandis que sur les sites très humides, la butte est le microsite jugé le plus approprié (Burton et al. 2000). À ces trois positions, nous pouvons ajouter le sol non perturbé entre les sillons. Le document «Qualité des plantations — guide de l'évaluateur» produit par le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec recommande que sur les superficies scarifiées, les plants soient mis en terre dans la partie supérieure du talus formé lors du scarifiage qui est normalement situé à l'emplacement «épaulement» (Figure 1) (Anonyme 2006).



**Figure 1.** Vue transversale d'un sillon formé par un scarificateur à disques ainsi que les trois positions de plantation : le fond du sillon, l'épaulement ainsi que le monticule. Tiré de Burton et al. (2000).

De façon générale, le scarifiage laisse une base de sol ferme au fond des sillons, un mélange meuble de matière organique – sol minéral au sommet des monticules et un sol de densité intermédiaire sur l'épaulement des monticules (Prévost 1992). Thiffault (2005) a publié une revue de littérature sur la formation de divers microsites par le scarifiage ; d'après lui, l'épaulement apparaît clairement comme étant le choix le plus approprié sur les stations mésiques. Ce choix est confirmé par différents auteurs (Bedford et von der Gonna 1994, Sutherland et Foreman 1995, Burton et al. 2000). Sur les stations mésiques ou hydriques, les creux sont toutefois à éviter à cause des risques d'accumulation d'eau. Dans ces poquets, les risques plus élevés de gel sont également à considérer. La plantation dans le fond du sillon est cependant recommandée pour le reboisement de l'épinette noire et du pin gris dans les sites sableux (Sutherland et Foreman 1995). Le fond du sillon serait approprié sur les stations sèches puisque le système racinaire serait

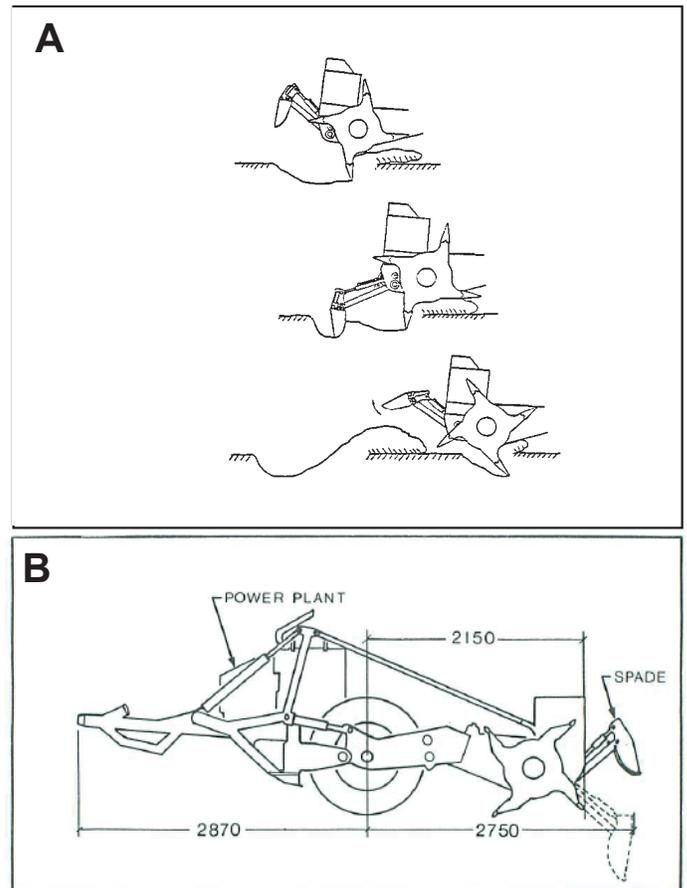
alors plus proche de la nappe phréatique. Cette position permet également de réduire l'insolation et les pertes en eau excessives. La **figure 2** montre les microsites suggérés par **Sutherland et Foreman (1995)** en fonction du type de dépôt et de drainage. Lorsque la couche d'humus est trop épaisse, il est recommandé de faire deux passages sur le même sillon, le premier enlève les débris et une portion de la couche d'humus et le deuxième pénètre plus profondément, incorporant le sol minéral dans le profil (**Bedford et von der Gonna 1994**).



**Figure 2.** Coupes transversales d'un sillon réalisé par un scarificateur à disques en fonction de différents dépôts et drainages. Les chiffres indiquent les positions recommandées pour la plantation d'épinette noire ou de pin gris; lorsqu'elles sont barrées, ces positions ne sont pas recommandées. Tiré de **Sutherland et Foreman (1995)**.

**Sutton (1993)** s'est attardé plus spécifiquement au microsite « monticule » formé par différentes méthodes de préparation de terrain; le microsite « monticule » peut produire différents effets, tant biologiques que physiques, modifiant le site de plantation. Ces effets ne sont pas toujours bien caractérisés et ceux à long terme sont particulièrement peu documentés. La technique de préparation de terrain par monticule consiste à produire de façon artificielle des monticules de sols afin de créer un ou plusieurs microsites en vue du reboisement. Les buttes ainsi créées peuvent être de dimension et de hauteur variables selon l'essence à reboiser, les caractéristiques du site et la machinerie utilisée (**Gagné et Paquette 2008**). Le premier scarificateur formant des monticules a été développé par la firme Robur Maskin AB et introduit en Suède en 1974 (**Hunt et McMinn 1988**). Les essais sur la préparation de terrain par monticule ont débuté en Suède en 1974 et cette manière de préparer le terrain avant la plantation est

devenue opérationnelle en 1976 (**Edlund et Jonsson 1986**). Différentes machineries forestières sont utilisées pour produire des monticules; le Bräcke-monticule, le scarificateur Sinkkila HMF, le Ministry/Rivtow, le Doranen 870H, le Oje et différents types d'excavatrice (**McMinn et Hedin 1990**). Le plus connu, le scarificateur Bräcke est formé d'une paire de roues munies de pioches dentelées; lorsque les roues tournent, elles arrachent et traînent la matière organique et le sol minéral formant un poquet et un monticule (**Figure 3**). Cet équipement est tiré par une débuseuse. Le Bräcke Moulder crée des monticules qui sont de petites tailles, soit des buttes qui sont composées d'à peine 2 à 6 centimètres de sol minéral (**Bedford et al. 2000**). L'appareil offre une bonne productivité et des résultats assez uniformes, mais il est déconseillé sur les parterres forestiers présentant de nombreux débris de coupe (**von der Gonna 1992**); dans **Gagné et Paquette (2008)**. Les scarificateurs à monticules modernes sont munis de deux rangées de disques (Bräcke M25.a) ou de trois (Bräcke M36.B). La cabine du conducteur peut être équipée d'un système de commandes (Bräcke Growth Control) permettant de contrôler la longueur des monticules en fonction des conditions environnantes<sup>1</sup>.



**Figure 3. 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 du lac Chibougamau. Schéma tiré de **Sutherland (1989)**.

En Ontario, des études sur la préparation de terrain par monticule pour la plantation du pin gris et de l'épinette noire

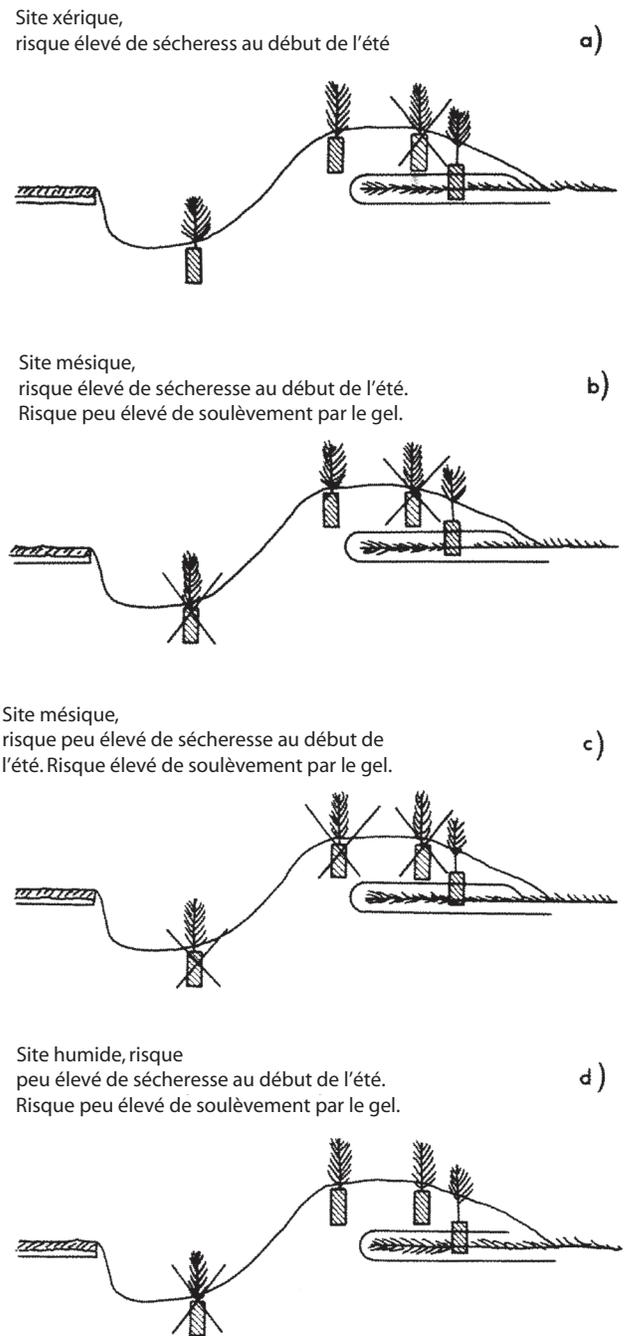
<sup>1</sup> Bräcke Forest AB. Brochures. <http://www.Bräckeforest.com/>.

ont été initiées à partir de 1979 (Smith et Sutherland 1989, Sutton 1991). La préparation de terrain par le Bräcke a aussi été étudiée en Colombie-Britannique au début des années 80 (Boateng et al. 2006, Boateng et al. 2009). Vingt ans après la plantation, la croissance de l'épinette blanche était meilleure sur les monticules formés par le Bräcke comparativement à l'épaulement ou au fond du poquet (Boateng et al. 2006). L'effet sur la croissance de *Pinus contorta* de divers microsites formés par le Bräcke, a été étudié par Marek (1986); la croissance en hauteur était supérieure sur l'humus inversé du monticule et les concentrations foliaires en minéraux étaient aussi plus élevées.

Selon plusieurs auteurs, cette technique de préparation de terrain présente plusieurs avantages (Haeussler 1989, Sutherland et Foreman 1995, Gagné et Paquette 2008). Elle 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 compétition et procure un substrat d'enracinement riche en matière organique (Haeussler 1989). Elle favorise également une augmentation de la température du sol dans la zone d'enracinement des plants (Gagné et Paquette 2008). Puisque la création de monticules forme des microsites surélevés, ceux-ci favorisent nettement un 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). Comme mentionné précédemment, 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).

Orlander et al. (1990) recommandent de planter sur le monticule et d'éviter le fond du poquet sauf sur les sites xériques. De plus, la plantation plus profonde des plants limite le stress hydrique sur les monticules (Figure 4). La plantation profonde est importante et est un facteur décisif pour limiter les stress hydriques et le soulèvement par le gel. Le ministère des Richesses naturelles de l'Ontario a publié un guide sur l'utilisation de différents types d'équipement pour la préparation de terrain (Sutherland et Foreman 1995). Différents types de microsites de plantation sont créés par le Bräcke-monticule (Figure 5).

En raison des conditions météorologiques particulières et de la courte durée de la saison de croissance en forêt boréale au Québec, des recherches spécifiques seraient nécessaires pour déterminer les effets réels de ce traitement du sol sous les conditions québécoises (Prévost 1992). Nous avons réalisé une recherche documentaire, la plus exhaustive possible, des articles scientifiques ainsi que des rapports produits par des organismes gouvernementaux sur l'effet de la préparation de terrain par monticule, avec le scarificateur de type Bräcke-monticule, sur la croissance de



**Figure 4.** Positions de plantation recommandées sur des sites scarifiés par un Bräcke-monticule en fonction de différents dépôt-drainage. Tiré d'Orlander et al. (1990).



**Figure 5.** Le Bräcke M36.b forme des microsites de plantation d'humus retourné (T), de sol minéral sur humus retourné (H) et de sol minéral sur sol minéral (M). Schéma tiré de la brochure : Bräcke M36.b. Bräcke Forest AB, Svedjegaten, Suède. <http://www.brackeforest.com/>.

l'épinette noire, de l'épinette blanche et du pin gris sur des sites de plantation en forêt boréale (Levasseur 2015). Au total, 23 documents ont été répertoriés. Le **tableau 1** fait la compilation des plantations expérimentales réalisées avec les essences forestières qui sont reboisées le plus souvent au Québec, l'épinette noire, l'épinette blanche et le pin gris. Une seule plantation expérimentale sur monticules a été réalisée au Québec à l'aide d'une excavatrice, en reboisant avec les trois espèces mentionnées plus haut (Lafleur et al. 2011). De plus, seulement un de ces sites a été étudié sur plus de 20 ans (Boateng et al. 2006, Boateng et al. 2009).

L'objectif de cette étude est de comparer la croissance des épinettes noires reboisées sur les différents microsites formés par le Bräcke-monticule ou le scarificateur à disques de type TTS. De façon plus spécifique, nous voulons détermi-

ner quel est le meilleur microsite pour la plantation de l'épinette noire dans la pessière à mousse du Nord québécois en fonction de chaque type de préparation de terrain. Ce type d'expérimentation, appelé étude type ou «*case study*» en anglais ne permet pas les comparaisons statistiques entre les deux traitements étant donné l'absence de vraies répétitions. Les comparaisons statistiques entre les microsites à l'intérieur de chaque site sont cependant valides. Les gains de croissance des plants d'un traitement par rapport à l'autre ne sont donnés qu'à titre indicatif.

## MATÉRIEL ET MÉTHODE

### Aire d'étude

Les sites Bräcke-monticule et TTS-témoin sont localisés

**Tableau 1.** Résultats de la recherche documentaire sur la préparation de terrain par monticules sur la croissance de l'épinette noire, l'épinette blanche ou le pin gris.

Nb de publ.	Espèces	Localisation	Type de machinerie	Résultat	Durée (années)	Référence
1	Epn, Pig	Z. boréale, Ont.	Bracke	+	1-2	Sutton (1983)
4	Pig	Z. boréale, Ont.	Bracke, pelle	0	0-3	Sutton (1984)
	Epn, Pig			0,+	3-5	Sutton (1987)
	Epn, Pig			0	5	Sutton et al. (1991)
	Epn, Pig			0	5	Sutton (1991)
2	Pig	Z. boréale, Ont.	Bracke, pelle	+	3	Wood et al. (1988)
					5	Sutton et al. (1991)
1	Epn	Z. boréale, Ont.	Pelle	0, +	5	Sutherland et Foreman (2000)
1	Epn	Z. boréale, Qc	Excavatrice	+	5	Lafleur et al. (2011)
1	Epb, Epn, Mel	Z. boréale, Alberta	Scarificateur (n.s.)	+	5	MacIsaac et al. (2004)
1	Epb, Epn, Mel	Z. boréale, Sask	Scarificateur à disques	0	6-7	Amichev et al. (2014)
1	Epb	Z. mixte, Sask.	Bracke	+	1-2	Archibold et al. (2000)
4	Epb	Z. boréale, C.B.	Bracke, pelle	+	12	Heineman et al. (1999)
				+	10-15	Bedford et al. (2000)
				+	19-20	Boateng et al. (2009)
				+	20	Boateng et al. (2006)
1	Epb	Z. boréale, Alberta	Excavatrice	+	7	Gradowski et al. (2008)
2	Epb	SBvk sous-zone, C.B.	Brake et pelle	+	10	Hawkins et al. (1995)
				+	15	Hawkins et al. (2006)
1	Epb	Z. boréale, Alberta	«Weldco-Beales mounding rake»	0	1-2	Tan et al. (2008)
1	Epb	Z. sub-boréale, C.B.	«BCMOF-moulder»; «Sinkkilä-moulder»	+	5	Letchford et al. (1996)
1	Epb	Z. boréale, C.B.	«Eden relief bedding plow»	+	10	Mackenzie (1996)
1	Epb	Z. boréale, C.B.	«Ministry-moulder»	+	1	von der Gönna (1989)

près de Chibougamau (73°58' O; 49°58' N) (**Figure 6**), dans le domaine de la pessière à mousses de l'Ouest, région écologique 6f de [Saucier et al. \(2000\)](#). Le dépôt est formé d'un till indifférencié (1A, 1AY) ou d'un dépôt juxtaglaciaire (2A) d'épaisseur moyenne supérieure à 1 m. Le sol est composé d'un loam à texture moyenne à drainage mésique de classes de drainage 20 ou 30. Le type écologique est RE22. Le peuplement d'origine (EE B2 90) a été récolté par coupe totale en 1983. Le site a été reboisé en 1987 avec des plants d'épinette noire cultivés en récipients 45-110 produits par la pépinière Pampev. La préparation de terrain a été réalisée par un scarificateur à disques de type TTS-35 ou par un Bräcke-monticule. La caractérisation est donnée pour chaque parcelle au **tableau 2**. Dans le cas du Bräcke-monticule, les plants étaient mis en terre soit, dans le fond du poquet, à l'épaule ou sur le monticule (**Figure 7**). Dans le cas du TTS, les plants étaient mis en terre au fond du sillon ou sur l'épaule de la butte formé par le scarificateur à disques.

Les caractéristiques topographiques des deux sites, celles des sols, du dépôt-drainage et du couvert non ligneux ont été évaluées par un plan de sondage décrit dans « le Point d'observation écologique » de [Saucier et al. \(1994\)](#); ces caractéristiques sont présentées au **tableau 3**. Le climat régional est de type subpolaire subhumide continental, caractérisé par une très courte saison de croissance. Les précipitations estivales sont en moyenne de 660 mm de pluie tandis que les chutes de neige totalisent 302 cm. La température annuelle moyenne est de 0°C et le nombre moyen de degrés-jours au-dessus de 5°C est de 1 235 ([Environnement Canada 2016](#)).

### Mesurage réalisé en 2009

Les épinettes noires plantées dans le site Bräcke ont été mesurées en octobre 2009 tandis que celles du site TTS ont été mesurées en partie en juin 2009 (parcelles 5-6-7-8-9) et en partie en octobre 2009 (parcelles 1-2-3-4-11-12), puisque l'ensemble du dispositif n'a pu être mesuré la même année par manque de temps. Les arbres ont été mesurés dans dix parcelles circulaires de 5,64 m de rayon (1/100ième d'hectare) dans le site Bräcke tandis que 12 parcelles de même grandeur ont été utilisées dans le site TTS. La hauteur de la tige sans la pousse apicale a été mesurée au cm près à



**Figure 6.** Localisation de la plantation opérationnelle implantée en 1987. Les chiffres suivis d'une lettre minuscule représentent les sous-domaines bioclimatiques d'après [Saucier et al. \(2000\)](#).

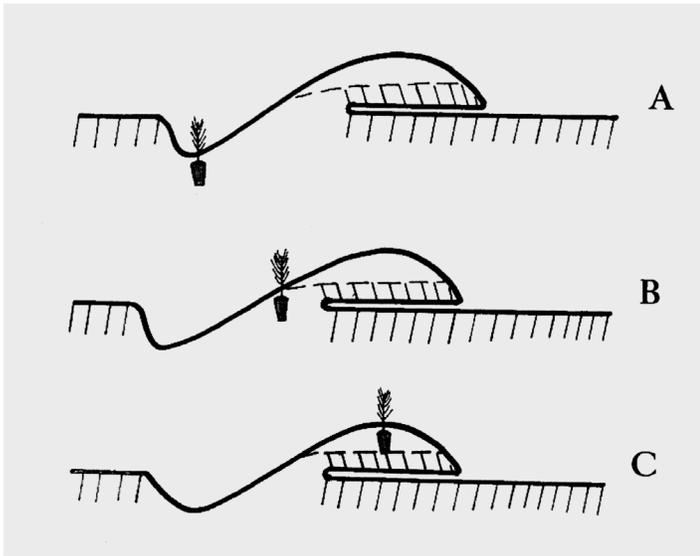
l'aide d'une perche de mesure; cette mesure correspond à la hauteur de l'arbre atteinte à l'automne 2008. Le DHP a été mesuré au mm près à l'aide d'un gallon circonférentiel. Une carotte au niveau du sol a été prélevée à l'aide d'une sonde de Pressler sur 20 arbres localisés dans le fond du sillon creusé par le TTS, 18 arbres sur son épaule, 18 arbres sur l'épaule formé par le Bräcke et 19 arbres sur le monticule du Bräcke. Les carottes ont été séchées à l'air libre et sablées avec un papier sablé très fin (grade

**Tableau 2.** Caractérisation des parcelles en fonction des cartes écoforestières.

Traitement	Parcelles	Surface (ha)	Groupe d'essence	Type de couvert	Type de Origine	Année	Inter-vention	Année	Drainage	Pente	Dépôt écologique	Type
Bracke	1-2-3	13,4	EPN	R	PLR	1987			Bon	4-8%	2A	RE21
Bracke	4	2,4	EPN	R	PLR	1987	EPC	2000	Modéré	4-8%	1A	RE22
Bracke	5-6-7-8	6,1	EPN	R	PLR	1987	EPC	2000	Modéré	4-8%	1A	RS22
Bracke	9	3,0	EPN	R	PLR	1987	EPC	2000	Modéré	9-15%	1AY	RS22
Bracke	10	11,7	EPN	R	PLR	1987	EPC	2000	Modéré	4-8%	1A	RE22
TTS	1-12	4,8	REPN	R	PLR	1987	EPC	2000	Modéré	9-15%	1A	RS22
	2-3-4-5-6-											
TTS	7-8-11	3,1	EPN	R	PLR	1987	EPC	2000	Bon	9-15%	1A	RS22
TTS	9-10	5,0	FEPN	M	PLR	1987			Bon	9-15%	1A	RS22

EPN : Plantation d'épinettes noires.

REPN : Plantation d'épinettes noires envahie par des résineux d'origine naturelle (50% à 74%).



**Figure 7.** Localisation des microsites de plantation formés par le Bracke-monticule et qui ont été comparés dans cette expérience. A-) Fond du poquet (F). B-) Épaulement (É). C-) Monticule (M). Tiré de [Plante \(1987\)](#).

400 grains/po<sup>2</sup>). L'accroissement annuel en diamètre a été mesuré à ± 0,01 mm sur une table Henson et les mesures ont été interdatées visuellement.

Le DHP des arbres des parcelles mesurés à l'automne 2009 a été corrigé pour soustraire la croissance radiale de l'année en cours afin d'obtenir le DHP atteint à l'automne 2008. Pour ce faire, des microcarottes ont été prélevées sur 42 individus, le cerne de croissance de l'année en cours mesuré et le diamètre corrigé ainsi :

$$DHP_{cor} = DHP_{2009} - (2 \times r) \text{ où}$$

r est la largeur moyenne du cerne de croissance de l'année en cours.

Le volume de la tige des épinettes noires a été calculé en prenant la formule d'un paraboléoïde décrit dans [Forslund et Paterson \(1994\)](#) :

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

$V_{DHP}$  : volume en dm<sup>3</sup>;

H : la hauteur de l'arbre en m;

DHP : le diamètre à hauteur de poitrine en cm;

C : une constante égale à 0,1 pour obtenir des unités de volume en dm<sup>3</sup>.

### Mesurage réalisé en 2014

Les mêmes arbres de l'échantillonnage 2009 ont été mesurés de nouveau à l'automne 2014. La hauteur totale de la tige a été mesurée au cm près à l'aide d'une perche de mesure; cette mesure correspond à la hauteur de l'arbre atteinte à l'automne 2014. Le DHP a été mesuré au mm près à l'aide d'un gallon circonférentiel. Tous les arbres mesurés en 2008 ont été mesurés en 2014 à l'exception de 4 arbres qui sont morts dans cet intervalle de temps et un cinquième qui n'a pas pu être localisé.

**Tableau 3.** Caractérisation des parcelles selon le point d'observation écologique de [Saucier et al. \(1994\)](#).

Traitement	Placette	Latitude	Longitude	Altitude	Exposition	Pente (°)	Humus (cm)	Pierrosité (%)	Pierrosité type	Couvert de la strate arbustive (%)									
										Kalmia	Ledum	Vaccinium	Herbacée	Fougère	Graminoïde	Mousses	Sphaigne	Lichens	
Bracké	2	N49 57'17"	W73 58'45"	408	400	0	6	5	C	0	1 à 25	51 à 75	1 à 25	0	0	26 à 50	1 à 25	26 à 50	1 à 25
Bracké	4	N49 57'25"	W73 58'46"	416	W	2	7	15	B	1 à 25	26 à 50	51 à 75	1 à 25	0	0	26 à 50	1 à 25	1 à 25	1 à 25
Bracké	6	N49 57'30"	W73 58'38,7"	417	W	3	5	15	P	26 à 50	26 à 50	51 à 75	1 à 25	0	0	26 à 50	1 à 25	1 à 25	1 à 25
Bracké	8	N49 57'34"	W73 58'32"	412	400	0	15	5	G	26 à 50	26 à 50	51 à 75	1 à 25	0	0	26 à 50	1 à 25	1 à 25	1 à 25
Bracké	10	N49 57'43"	W73 58'12"	420	400	0	11	10	G	26 à 50	1 à 25	51 à 75	1 à 25	0	0	51 à 75	1 à 25	1 à 25	1 à 25
Moyenne				415		1	9	10		26 à 50	26 à 50	51 à 75	1 à 25	0	0	25 à 50	1 à 25	1 à 25	1 à 25
TTS	2	N49 58'35,8"	W73 56'54,8"	428	S	4	12	30	B	26 à 50	26 à 50	26 à 50	1 à 25	0	0	51 à 75	1 à 25	1 à 25	1 à 25
TTS	4	N49 58'34,4"	W73 56'53,7"	421	E	6	19	20	B	26 à 50	26 à 50	26 à 50	1 à 25	0	0	51 à 75	1 à 25	1 à 25	1 à 25
TTS	6	N49 58'35,2"	W73 56'51,4"	429	S	4	22	50	B	26 à 50	1 à 25	51 à 75	1 à 25	0	0	26 à 50	1 à 25	1 à 25	1 à 25
TTS	8	N49 58'36,7"	W73 56'51,7"	434	S	12	28	10	P	51 à 75	1 à 25	26 à 50	1 à 25	0	0	51 à 75	1 à 25	1 à 25	1 à 25
TTS	10	N49 58'38,1"	W73 56'52,5"	440	400	0	12	15	P	26 à 50	26 à 50	26 à 50	1 à 25	0	0	51 à 75	1 à 25	1 à 25	1 à 25
TTS	12	N49 58'33"	W73 56'55"	421	W	2	20	30	B	51 à 75	26 à 50	51 à 75	1 à 25	0	0	76 à 100	1 à 25	1 à 25	1 à 25
Moyenne				429		5	20	25		26 à 50	26 à 50	26 à 50	1 à 25	0	0	51 à 75	1 à 25	1 à 25	1 à 25

Pierrosité type : G graviers; C cailloux; P pierres; B blocs.

## IQS et rendement prédit par les tables de rendement

Les huit arbres les plus grands par type de microsite ont été choisis pour calculer la hauteur des arbres dominants correspondants aux 200 plus hautes tiges à l'hectare. Les modèles tirés de [Prégent et al. \(1996\)](#) ont été utilisés pour calculer l'indice de qualité de station (IQS), la surface terrière totale, la surface terrière marchande, le volume total et le volume marchand. L'extrapolation du volume marchand entre 36 et 60 ans a été faite en suivant la méthode décrite dans [Prégent et al. \(1996\)](#). Brièvement, le volume marchand a été calculé pour l'intervalle de 15 à 35 ans, puis afin d'éviter la baisse soudaine de volume marchand causé par l'extrapolation du modèle, l'accroissement annuel moyen en volume marchand a été maintenu constant à partir de l'âge auquel l'accroissement atteint une valeur maximale jusqu'à 60 ans. Les IQS des deux sites ont été comparés à ceux des sites des parcelles d'épinette noire mesurées par [Krause et al. \(2014\)](#).

## Analyses statistiques

L'effet du traitement de scarification, le Bräcke par rapport au TTS, n'a pu être analysé statistiquement à cause de l'absence de vraies répétitions. Par contre, l'effet microsite à l'intérieur de chaque site a pu être analysé statistiquement. Les données de mesures de 2009 et 2014 ont été traitées suivant un dispositif en blocs répliqués en utilisant l'analyse de variance en mesures répétées ([Quinn et Keough 2002](#)). Les blocs correspondent aux parcelles circulaires et l'interaction parcelles x microsites correspond à l'erreur expérimentale. La procédure REML a été utilisée pour calculer les statistiques de l'ANOVA ([SAS Institute Inc. 2015](#)). 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  $\ln(\text{Vol} + 1)$  pour respecter les prérequis de l'analyse de variance. Les moyennes des moindres carrés et les intervalles de confiance des données brutes sont présentés dans les résultats. Lorsque l'analyse de variance était significative, les types de microsites étaient comparés entre eux par un test de comparaisons multiples de Student ([Kirk](#)

[1982, Saville 1990](#)). Les pourcentages de tiges présentant des défauts ont été analysés en utilisant un test de vraisemblance ([Scherrer 1984](#)). Les différences étaient jugées significatives à un seuil de  $P \leq 0,05$ . Toutes les données ont été analysées en utilisant le logiciel JMP Pro 12.0.1 ([SAS Institute Inc. 2015](#)). Les comparaisons statistiques entre les deux traitements sont cependant impossibles à réaliser en utilisant l'ANOVA en l'absence de «vraies répétitions». Les deux traitements sont donc comparés visuellement l'un par rapport à l'autre en terme de gain relatif en croissance :

$$\text{Gain}_{\text{var}} (\%) = 100 \times \frac{\overline{\text{Var}_{\text{Bräcke}}} - \overline{\text{Var}_{\text{TTS}}}}{\overline{\text{Var}_{\text{TTS}}}} \text{ où}$$

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

$\overline{\text{Var}_{\text{Bräcke}}}$  : moyenne de la variable mesurée sur le site Bräcke.

$\overline{\text{Var}_{\text{TTS}}}$  : moyenne de la variable mesurée sur le site TTS.

Les prévisions de leur volume marchand respectif sont comparées à celles des données de la Pessière à mousses colligées par [Krause et al. \(2014\)](#).

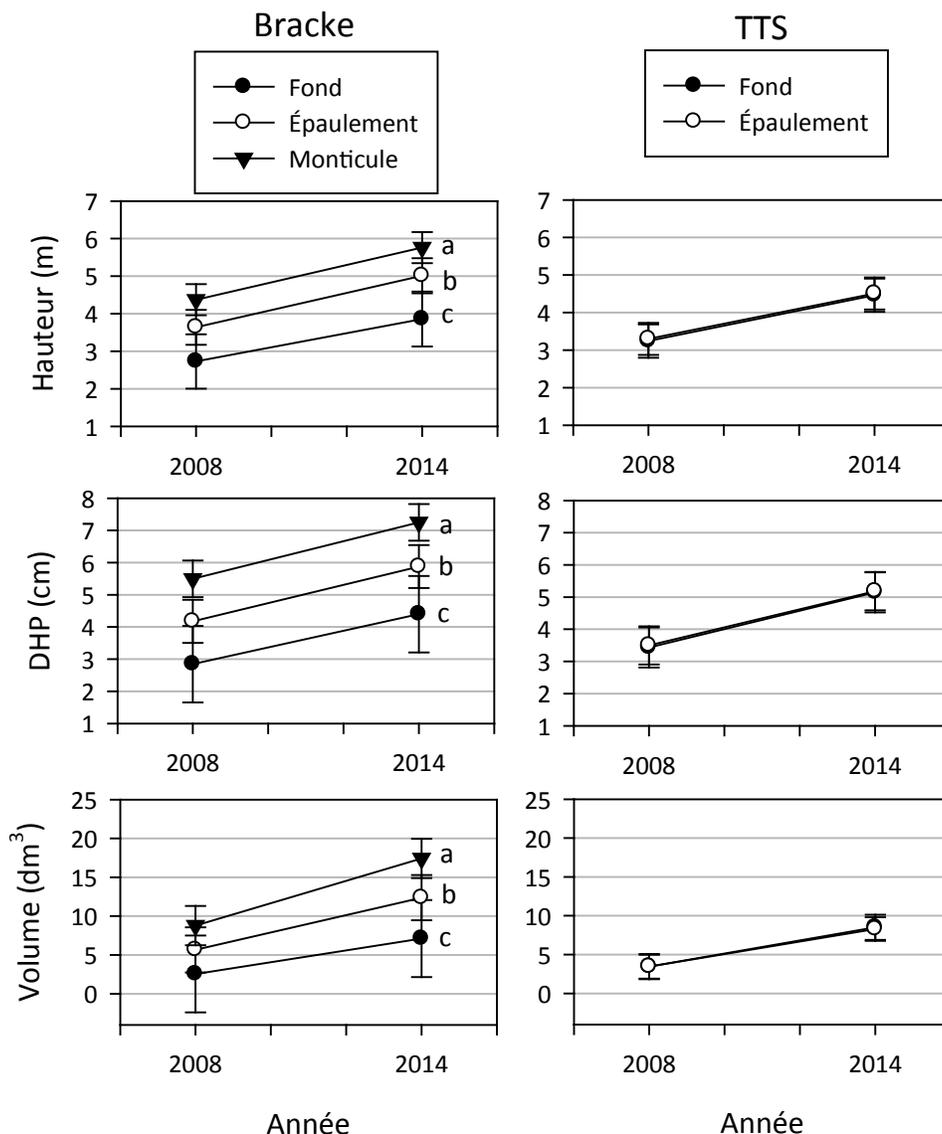
## RÉSULTATS

L'analyse de variance du **tableau 4** indique que la hauteur de la tige des arbres variait significativement en fonction des trois différents microsites formés par le Bräcke et de l'année d'échantillonnage ( $P < 0,0001$ ). La hauteur des épinettes noires était significativement plus grande sur les monticules comparativement aux plants localisés sur l'épaule ou le fond du poquet (**Figure 8A**). Les plants localisés sur le monticule mesuraient en 2014 5,8 m en moyenne, comparative-ment à 5,0 m sur l'épaule et à 3,9 m pour ceux localisés dans le fond du poquet. Dans le cas du TTS, la hauteur des plants d'épinette noire n'était pas statistiquement différente entre ceux localisés sur l'épaule du sillon et ceux localisés au fond du sillon ( $P = 0,79$ ) (**Tableau 4; Figure 8B**). En moyenne, les plants mesuraient 4,5 m de hauteur dans le site TTS. L'accroissement de la hauteur des tiges était significatif entre 2008 et 2014, mais l'interaction Microsites x Années ne l'était pas.

**Tableau 4.** Analyse de variance de l'effet du microsite sur la hauteur, le DHP et le volume de la tige des épinettes noires plantées après une préparation de terrain au Bräcke ou au TTS.

Variable	Source	Bräcke				TTS			
		d.l.n.	d.l.d.	Rapport F	Prob. > F	d.l.n.	d.l.d.	Rapport F	Prob. > F
Hauteur	Microsite (M)	2	11	25,4	< 0,0001	1	11	0,08	0,79
	Année (A)	1	15	226,3	< 0,0001	1	11	225,93	< 0,0001
	M x A	2	17	1,5	0,26	1	11	0,02	0,89
DHP	Microsite (M)	2	13	19,2	0,0001	1	10	0,04	0,85
	Année (A)	1	14	230,6	< 0,0001	1	11	254,67	< 0,0001
	M x A	2	16	0,9	0,42	1	9	0,07	0,79
Volume*	Microsite (M)	2	9	15,0	0,001	1	10	0,26	0,62
	Année (A)	1	16	163,1	< 0,0001	1	11	238,31	< 0,0001
	M x A	2	21	2,5	0,11	1	9	1,08	0,32

\* : le volume a été transformé en  $\ln(\text{Vol})$  pour corriger l'hétéroscédasticité.



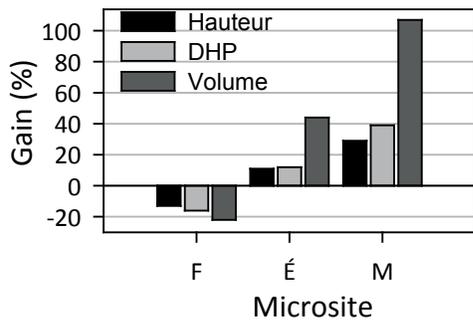
**Figure 8.** Effet du microsite sur la croissance en hauteur, du DHP et du volume de la tige des épinettes noires plantées après un scarifiage au Bracke ou au TTS. Moyenne  $\pm$  intervalle de confiance à 95 %. Les moyennes suivies d'une lettre différente sont significativement différentes à  $P < 0,05$ .

Sur le site Bräcke, le DHP des plants sur le monticule était significativement plus grand que celui des plants localisés sur l'épaulement ou le fond du poquet ( $P \leq 0,0001$ ) (**Tableau 4; Figure 8C**). Le DHP moyen en 2014 des plants localisés sur le monticule était de 7,3 cm en moyenne comparativement à 5,9 cm sur l'épaulement et 4,4 cm dans le fond du poquet. Dans le cas du dispositif TTS, les plants situés sur l'épaulement n'étaient pas significativement différents de ceux situés au fond du poquet ( $P = 0,85$ ) (**Tableau 4; Figure 8D**). Le DHP des plants du dispositif TTS était de 5,1 cm en moyenne en 2014.

Le volume individuel des tiges d'épinette noire des arbres localisés sur l'épaulement était significativement plus grand que ceux localisés sur l'épaulement ou le fond du poquet (**Figure 8E**). Le volume des tiges des épinettes noires localisées sur le monticule formé par le Bräcke était de 17,4 dm<sup>3</sup> comparativement à 12,4 dm<sup>3</sup> pour ceux localisés sur l'épaule-

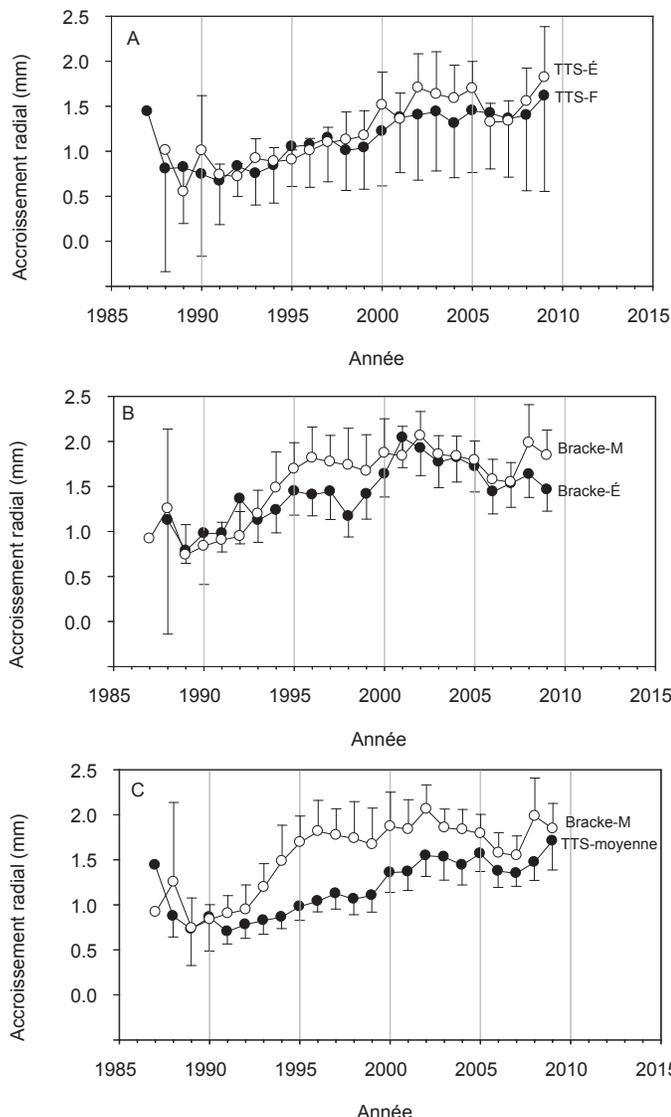
ment et 7,1 dm<sup>3</sup> pour ceux du fond du poquet. L'accroissement en volume entre 2008 et 2014 était significatif et l'écart entre les trois microsites semblait s'accroître même si l'interaction M x A n'était pas significative ( $P = 0,11$ ). Dans le cas du site TTS, le volume a augmenté significativement entre les deux dates d'échantillonnage, mais ne variait pas significativement entre les deux microsites; celui-ci était en moyenne de 8,4 dm<sup>3</sup> par arbre (**Figure 8F**).

La **figure 9** présente les gains relatifs en hauteur, en DHP et en volume des arbres plantés sur différents microsites formés par le Bräcke par rapport à ceux plantés après un scarifiage au TTS. Le gain en hauteur était de 29%, celui du DHP de 39% et celui du volume individuel des tiges de 107%. Les gains relatifs des arbres plantés sur l'épaulement sont beaucoup plus faibles et même négatifs lorsque les arbres sont plantés dans le fond du poquet formé par le Bräcke-monticule.



**Figure 9.** Gain relatif en hauteur, en DHP et en volume de la tige des épinettes noires reboisées après un scarifiage au Bracke par rapport à celles reboisées au TTS. F fond du poquet, É épaulement, M monticule.

Sur le site TTS, la courbe d'accroissement annuel en diamètre des épinettes noires plantées dans le fond du sillon est très semblable à celle des arbres plantés sur l'épaulement (**Figure 10A**). L'accroissement radial augmentait linéairement dans les deux cas jusqu'en 2005 (19 ans après la plantation). Par la suite, l'accroissement radial des arbres localisés à l'épaulement était légèrement plus grand entre 1998 et 2005. Dans le cas du Bracke, l'accroissement radial des arbres sur le monticule est plus grand comparativement



à ceux sur l'épaulement sur une plus longue période de temps, soit de 1994 à 2009 (**Figure 10B**). Si l'on compare l'accroissement radial du Bracke-monticule avec celui de la moyenne des deux microsites du TTS, on remarque un écart important entre les deux courbes en faveur du premier (**Figure 10C**). On observe pour le Bracke-monticule une période de latence de quatre ans environ après la plantation suivie d'une accélération de la croissance radiale jusqu'en 1996 suivie d'une stabilisation. L'accroissement radial annuel du Bracke-monticule est plus grand que celui du TTS sur toute la période de temps qui suit la période de latence de quatre ans.

Lors du deuxième mesurage, les défauts sur la tige ont été notés. Ces défauts étaient principalement des fourches et des flèches terminales doubles. Le choix du microsite n'a pas eu d'effet significatif sur leur nombre ( $P = 0,87$ ). Le pourcentage de plants avec des défauts ne dépassait pas 11%. Le déchaussement était un problème mineur, seul un plant déchaussé a été noté dans le fond du poquet du dispositif Bracke sur un total de 202 plants évalués.

Le **tableau 5** présente les différents paramètres dendrométriques mesurés en 2014 et ceux prédits par les équations de [Prégent et al. \(1996\)](#). Les arbres sur les monticules du Bracke ont le plus fort IQS soit 6,1 m comparativement à 3,6 m pour les arbres plantés dans le fond du poquet. Le volume total à 30 ans était de 55,3 m<sup>3</sup>/ha dans le premier cas pour seulement 13,2 m<sup>3</sup>/ha pour le fond du poquet. L'IQS des arbres reboisés sur le monticule occupe les 77 quantiles sur 100 de la distribution des parcelles d'épinette noire mesurées par [Krause et al. \(2014\)](#), tandis que ceux reboisés après une scarification au TTS n'occupent que le 40e rang (**Figure 11**). L'extrapolation du volume marchand par la méthode décrite dans [Prégent et al. \(1996\)](#) permet d'estimer un volume marchand de 186 m<sup>3</sup>/ha à 60 ans pour les arbres plantés sur les monticules et de 135 m<sup>3</sup>/ha pour ceux plantés sur l'épaulement du TTS (**Figure 12**).

## DISCUSSION

Nos résultats montrent que le choix du microsite de plantation influence significativement la croissance en hauteur des épinettes noires reboisées après une préparation de terrain par le Bracke-monticule. Le monticule représente la meilleure position de plantation, suivie de l'épaulement tandis que le fond du poquet s'avère le microsite le plus défavorable lorsqu'on compare celui-ci au sillon formé par un scarificateur à disques. Ces différences demeurent stables dans le temps puisqu'il n'y a pas d'interaction significative entre l'effet du microsite et l'année des mesures (2008-2014).

**Figure 10.** Accroissement annuel radial. A-) Comparaison entre les plants localisés sur l'épaulement (É) et le fond du sillon par le TTS. B-) Comparaison entre les plants localisés sur le monticule (M) et l'épaulement (É) formé par le Bracke. C-) Comparaison entre les plants localisés sur le monticule (M) formé par le Bracke et la moyenne des deux microsites É et F formés par le TTS. Moyenne  $\pm$  intervalle de confiance à 95 %.

Tableau 5. Calculs des différents paramètres dendrométriques de l'épinette noire prédits à partir des équations de Prégent et al. (1996). L'IQS prédit est à 25 ans.

	Bracke			TTS	
	F <sup>1</sup>	É <sup>2</sup>	M <sup>3</sup>	F <sup>1</sup>	É <sup>2</sup>
Nb. arbres	8	8	8	8	8
Âge total	30	30	30	30	30
Hauteur des dominants (m)	5,0	7,4	8,0	6,4	6,8
Hauteur moyenne (m)	3,9	5	5,8	4,5	4,5
DHP dominants (cm)	5,4	9,4	10,8	8	7,9
DHP moyen (cm)	4,4	5,9	7,3	5,3	5,2
Volume dominants (dm <sup>3</sup> /tige)	8,9	32,0	43,7	20,1	20,9
Volume moyen (dm <sup>3</sup> /tige)	6,7	12,4	17,8	8,9	8,3
IQS (m)	3,8	5,6	6,1	4,9	5,2
Espacement (m)	2	2	2	2	2
Surface terrière totale prédite (m <sup>2</sup> /ha)	5,5	14,1	16,5	10,6	12,0
Surface terrière marchande prédite (m <sup>2</sup> /ha)	1,0	10,4	13,0	6,5	8,1
Volume total prédit (m <sup>3</sup> /ha)	13,2	44,8	55,3	30,2	35,9
Volume marchand prédit (m <sup>3</sup> /ha)	0	23,8	32,7	11,7	16,5

F<sup>1</sup> : fond, É<sup>2</sup> : épaulement, M<sup>3</sup> : monticule.

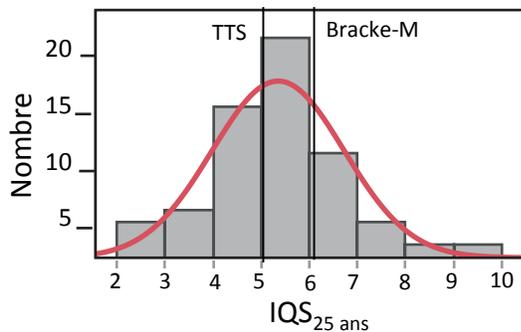


Figure 11. Distribution de fréquences des parcelles d'épinette mesurées par Krause et al. (2014). Les valeurs d'IQS des plants localisés sur le monticule du Bracke (Bracke-M) ou après une scarification au TTS (TTS) sont indiqués par des lignes verticales.

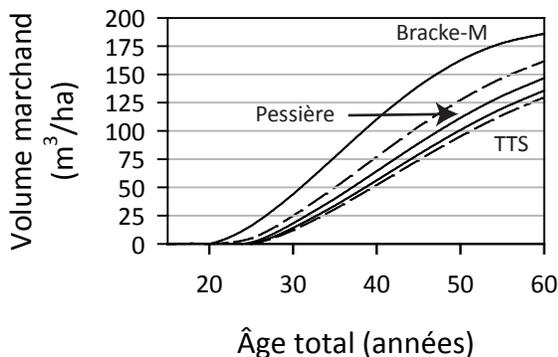
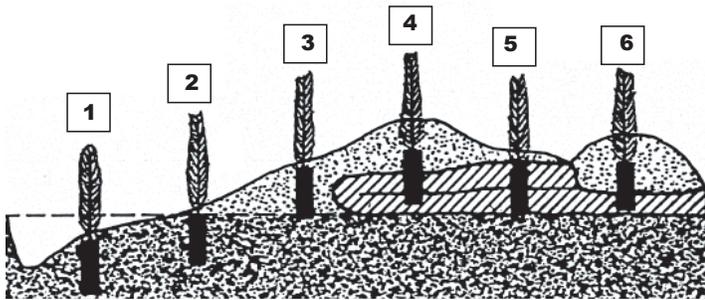


Figure 12. Volume marchand prédit pour les plants localisés sur le monticule du Bracke (Bracke-M) ou après une scarification au TTS (TTS). Ces courbes sont comparées à la prévision du volume marchand des plantations d'épinette noire de la pessière à mousses publiée par Krause et al. (2014). Les courbes hachurées sont les intervalles de confiance à 95% de cette prévision.

L'IQS a été calculé à partir des mesures de hauteur prises en 2014. L'IQS à 25 ans calculé pour les plants reboisés sur l'épaulement est de 6,1 m, ce qui est supérieur à l'IQS moyen de l'épinette noire aux données colligées par Krause et al. (2014) dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean (la médiane est à 5,3 m dans la pessière). Prégent et Végiard (2000) arrivent à une moyenne de 5,8 m pour les plantations d'épinette noire reboisés dans la région de Chibougamau. La plantation sur le monticule du Bracke permet probablement de mieux «exploiter» la fertilité de cette station puisque le site TTS localisé à proximité sur le même dépôt de surface a un IQS plus faible. Prégent et Végiard (2000) concluent d'ailleurs que les sols ayant une capacité d'échange cationique inférieure à 15 méq/100 g sont associés à des stations moins fertiles et ont un IQS peu élevé; selon eux, la croissance et le rendement des plantations d'épinette noire localisées dans le domaine de la pessière à mousse sont caractérisés par une forte variabilité qui s'expliquerait, partiellement du moins, par des conditions hétérogènes des caractéristiques de sol induites et non par la préparation de terrain.

Nos résultats sont en accord avec ceux d'une étude réalisée en Nouvelle-Écosse montrant que le pourcentage de survie (+3%), la longueur de la pousse apicale et la hauteur moyenne à 10 ans (+17%) des semis d'épinette blanche étaient supérieurs sur le monticule comparativement au fond des sillons formés par une charrue (Anonyme 1990). En Suède, le choix du microsite de plantation après une préparation de terrain au Bracke est fonction du risque de sécheresse et de la texture du sol (Adelskold et Orlander 1990). Sur les sols xériques, les positions 1, 2 et 3 doivent être privilégiées (Figure 13). Sur les sols mésiques, moraine de sable fin, les microsites 3 et 4 sont meilleurs. Sur les sols mésiques, silt et sols humides, les positions 4, 5 et 6 sont à privilégier. En Suède, 16% des semis sont plantés sur l'humus non perturbé (6), 50% dans le poquet ou l'épaulement (1-2) et 34% sur le monticule (3-4-5). L'épaisseur du sol minéral sur le monticule doit se situer entre 5 et 20 cm et le volume entre 10 et 40 L. Bedford et al. (2000) ont observé que la croissance de l'épinette blanche est meilleure sur les monticules recouverts de 14 à 20 cm de sol minéral formés par le Bracke. Sur les stations xériques, les microsites 5 et 6 présentent plus de risques de sécheresse. Sur les stations plus fraîches, le microsite 1 est à déconseiller à cause du faible drainage et des températures du sol plus froides.

Dans de nombreux cas, les semis qui sont reboisés sur le monticule sont plantés plus profondément pour éviter la sécheresse; les plants peuvent être enfouis jusqu'à 1/2 de leur taille. En Colombie-Britannique, les semis sont généralement plantés sur le monticule et enfouis plus profondément que le collet pour que le système racinaire soit en contact avec l'humus inversé (Bedford et von der Gonna 1994). L'enfouissement profond pourrait favoriser la croissance de l'épinette noire qui est reconnue pour former des racines adventives (Bannan 1942). Le nombre de racines adventives est plus important chez les plants d'épinette noire plantés plus profondément et ceux-ci ont une croissance en hauteur plus élevée que ceux plantés au collet (Tarroux et al. 2014).



**Figure 13.** Positions recommandées par Adelskol et Orlander (1990) pour la plantation après une scarification par monticule : 1-) position en dessous du niveau du sol minéral; 2-) position au même niveau que le sol minéral; 3-) position sur sol minéral; 4-) minéral sur humus inversé; 5-) humus inversé 6-) monticule sur humus non perturbé.

Par contre, Paquette et al (2011) n'ont pas trouvé de relation entre la croissance de l'épinette noire et blanche et la profondeur de plantation. Les racines des plants d'épinette blanche plantés sur monticules ont une section transversale 5 fois supérieure à celles des plants témoins (Heineman et al. 1999). Sutton (1987) a montré que la performance en plantation de l'épinette noire et du pin gris reboisé après une préparation au Bräcke-monticule est corrélée à la capacité de croissance racinaire (CCR). Thiffault (2016) a observé que la croissance en hauteur et en diamètre des plants d'épinette noire reboisés après une préparation au scarificateur à disques augmente avec la profondeur de plantation.

Dans notre étude, on remarque aussi une plus forte croissance en diamètre des tiges situées sur le monticule comparativement aux autres positions ce qui a un impact important sur le volume de la tige. Par contre, Sutton (1991) n'a pas observé de différences significatives de la hauteur, du diamètre ou du volume des plants à racines-nues d'épinette noire ou de pin gris reboisés sur différents microsites après une préparation au Bräcke cinq ans après la plantation. Comme le note l'auteur, on peut supposer que la période de croissance étudiée était trop courte pour discerner des différences significatives entre les différents microsites. Notre analyse dendrométrique montre en effet une période de latence de quatre ans après la plantation avant que l'effet bénéfique de la plantation sur monticule soit visible. La minéralisation de la matière organique est très lente en forêt boréale à cause des températures très basses dans les sols (Van Cleve et al 1981, 1990). On peut supposer que cette période de latence correspond au temps nécessaire pour la mise en place du système racinaire et puisse exploiter la couche de matière organique emprisonnée sous le monticule qui se décompose, les éléments minéraux devenant disponibles pour les plants. C'est possiblement la raison pour laquelle Buitrago (2014, Buitrago et al. 2015) ne mesurent pas de différence significative entre les différents types de préparation de terrain après trois ans de croissance des plants de mélèze.

Sur le site de plantation au TTS-35, le choix de la position de plantation (fond du sillon par rapport à l'épaulement) n'a pas influencé la croissance en hauteur, en diamètre ou en volume de la tige. Contrairement à nos résultats, Bedford et Sutton (2000) ont observé un accroissement du volume de

la tige du pin tordu planté à l'épaulement du sillon 2,7 fois supérieur à ceux plantés au fond du sillon tout comme les résultats de Burton et al. (2000) qui montrent que les plants reboisés sur l'épaulement ont une croissance supérieure à ceux reboisés au fond du sillon. Dans une expérience réalisée en Colombie-Britannique, la croissance en hauteur et en volume 10 ans après la plantation du pin tordu était significativement plus élevée chez les semis plantés à l'épaulement comparativement à ceux au fond du sillon de scarification du TTS-Delta, même si le taux de survie était plus faible malgré tout, le taux de survie était d'au moins 93% dans le pire des cas (Bedford et Sutton 2000). Une autre étude réalisée en Colombie-Britannique a montré des différences significatives de la croissance entre les plants reboisés sur l'épaulement des sillons formé par un scarificateur à disques à ceux plantés dans le sillon; après 5 ans, les semis dans le sillon mesuraient 71 cm comparativement à 112 cm pour ceux de l'épaulement. L'écart entre les deux était encore plus grand pour le volume de la tige soit 72 cm<sup>3</sup> dans le sillon comparativement à 228 cm<sup>3</sup> sur l'épaulement (Bedford et von der Gonna 1994). Lorsque les plants sont reboisés assez haut sur l'épaulement, le système racinaire est en contact avec la matière organique qui est une source de nutriments pour sa croissance et le volume de la tige augmente par un facteur de trois (Bedford et von der Gonna 1994). Nesdoly et Van Rees (1998) ont montré que les concentrations des éléments minéraux N., P. et S. au sein des buttes formées par le scarificateur TTS-Delta étaient plus élevées que les valeurs observées dans les tranchées sur les luvisols et brunisols du nord de la Saskatchewan. Coates et Haeussler (1990) recommandent aussi de reboiser les plants sur l'épaulement formé par le scarificateur à disques sur les sites froids puisque la température est plus élevée et le drainage est meilleur ce qui favorise la croissance des plants. Dans un essai réalisé à Terre-Neuve comparant différents microsites créés par un scarificateur à disques (English 1996, 1998) a démontré que les plants d'épinette noire reboisés à l'épaulement ou sur le monticule avaient une meilleure croissance en hauteur que les plants reboisés dans le sillon; les recommandations à Terre-Neuve sont que les plants doivent être reboisés à l'épaulement ou sur le monticule et le fond du sillon doit être évité, sauf si aucun autre microsite n'est disponible. La raison pour laquelle dans la présente expérience les plants reboisés à l'épaulement ne se distinguent pas de ceux plantés au fond du sillon demeure inconnue. On peut spéculer qu'à l'époque (1987), la scarification réalisée par le TTS-35 n'était pas assez agressive comparativement aux scarificateurs à disques hydrauliques plus récents; les sillons formés étaient peu profonds et les deux microsites (fond/épaulement) se différenciaient peu l'un de l'autre.

Cette plantation opérationnelle ne permet pas une comparaison statistique entre le Bräcke et le TTS puisque les deux méthodes de préparation de terrain n'ont pas été répétées sur des sites indépendants. Par contre, la comparaison entre les microsites à l'intérieur de chaque méthode de préparation de terrain reste valide statistiquement. Nonobstant cela, nous jugeons important d'évaluer ces deux méthodes l'une par rapport à l'autre puisqu'à notre connaissance, il n'y a pas d'autres études réalisées au Québec qui permet

d'évaluer le rendement d'une plantation après préparation au Bräcke-monticule sur une aussi longue période de temps. Nos résultats montrent qu'après 30 ans, le volume de la tige des plants reboisés sur le monticule du Bräcke serait 107 % plus élevé que ceux des plants reboisés après un scarifiage au TTS tel que pratiqué traditionnellement au Québec. Les deux sites sont localisés sur la même unité cartographique en utilisant la même provenance de plants d'épinette noire qui ont été reboisés simultanément ce qui permet d'inférer que les différences de croissance sont causées probablement par la méthode de préparation de terrain et la position du microsite de reboisement.

Ces résultats sont en accord avec ceux provenant de la Scandinavie et de la Colombie-Britannique où la plantation sur monticule est utilisée opérationnellement depuis des années. Örlander et al. (1998) ont montré que le poids sec de la tige des plants d'épinette de Norvège reboisés sur le monticule du Bräcke était le double de ceux plantés dans le fond ou l'épaulement du sillon formé par un scarificateur à disques, quatre ans après la plantation. En Suède, après 10-12 ans de croissance, la hauteur des pins tordus (*Pinus contorta*) plantés sur les monticules formés par un scarificateur Brake était 1,5 fois plus élevée comparativement à ceux localisés dans le poquet et le volume de la tige 5,8 fois plus élevé (Edlund et Jonsson 1986). Dans le même ordre de grandeur, dans deux essais de plantation en Colombie-Britannique, les plants d'épinette blanche avaient une biomasse trois fois plus importante lorsqu'ils étaient plantés sur le monticule plutôt que dans le poquet formé par le Bräcke (Bedford et al. 2000). Dans une expérience réalisée en Saskatchewan, Archibold et al. (2000) n'ont pas noté de différence significative de la hauteur des plants d'épinette blanche reboisés deux ans après une préparation de terrain par un scarificateur à disques ou un Bräcke; cependant, la biomasse des semis était 1,5 fois plus grande sur les parcelles traitées au Bräcke. Dans un essai réalisé en Colombie-Britannique, les plants de pin tordu plantés sur les monticules du Bräcke mesuraient 2,94 m après 10 ans comparativement à 2,31 m pour ceux plantés à l'épaulement du sillon d'un scarificateur à disques, soit une augmentation de 27% (Macadam et al. 2001). Dans un essai réalisé dans le nord-est de la Colombie-Britannique, la hauteur, le diamètre et le volume de la tige des épinettes blanches étaient plus grands dans tous les traitements de mise en butte comparativement aux épinettes plantées à l'épaulement du poquet; 20 ans après la plantation; la hauteur et le diamètre de la tige étaient 1,4 fois plus grands sur les buttes recouvertes de 20 cm de sol minéral comparativement à l'épaulement et le volume de la tige était 2,2 fois plus élevé dans le premier cas (Boateng et al. 2006). Sur un autre site expérimental, le volume de la tige était 2,9 fois plus grand sur les buttes recouvertes de 10 cm de sol minéral comparativement aux plants reboisés dans le poquet (Boateng et al. 2009).

Le rendement anticipé des plantations devrait influencer une part importante de la possibilité forestière de la région du Saguenay – Lac-Saint-Jean (Prégent et Végiard 2000). Les rendements minimaux pour l'épinette noire prévus au Manuel d'Aménagement forestier sont de 150 m<sup>3</sup>/ha à 60 ans

pour la plus faible qualité de station trouvés par Prégent et al. (1996), celle de 6 m (hauteur dominante à un âge de référence de 25 ans). Prégent et Végiard (2000) ont montré sub-séquentement qu'en forêt boréale, près de 32% des placettes mesurées d'épinette noire ont un IQS de 5 m et moins. Pour cette raison, il est impératif d'augmenter la productivité de nos forêts pour être compétitif sur les marchés mondiaux. Cet enjeu est d'autant plus important qu'à l'avenir, les plantations fourniront une part de plus en plus importante du bois mis en marché. Une étude économique effectuée en Colombie-Britannique montre que la préparation de terrain permet d'atteindre les normes de reboisement plus rapidement et à moindre coût; la préparation de terrain se traduisait par une valeur foncière actualisée plus élevée que celle de la plantation directe et la préparation au Bräcke-monticule (butte de 6 cm) se révélerait la plus profitable (Hawkins et al. 2006). L'atteinte de cet objectif passe par l'utilisation de nouvelles techniques de production de plants, l'amélioration génétique des arbres, de même que les traitements sylvicoles plus intensifs (Thiffault et al. 2003b). Cet objectif de productivité devrait aussi inclure l'amélioration des techniques de préparation de terrain avant le reboisement notamment par la plantation sur monticule. Selon la firme Bräcke Forest, la productivité du Bräcke-monticule (M36.a) se compare avantageusement à celle du scarificateur à disques (T26.a).

Productivité à l'heure : 2 500 microsites à l'hectare et à 2 mètres de distance.

	<b>T26.a</b>	<b>M36.a</b>
Terrain facile	1,5 ha	1,9 ha
Terrain modéré	1,0 ha	1,1 ha
Terrain difficile	0,5 ha	0,7 ha

Source : Bracke Forest AB, Suède.

Toutefois, des expériences devraient être réalisées préalablement pour optimiser les paramètres de la plantation sur monticule (par le Bräcke ou une autre machinerie), avant une utilisation à grande échelle, tout en tenant compte des conditions prévalentes dans la forêt boréale québécoise.

## RÉFÉRENCES

- Adelskold, G. et G. Örlander. 1990. Planting spot selection on mechanically prepared sites. B.C. Ministry of Forests, Victoria, B.C.
- Amichev, B. Y., B. E. Bailey, et K. C. J. Van Rees. 2014. White spruce (*Picea glauca*) structural root system development and symmetry influenced by disc trenching site preparation. *Forest Ecology and Management* **326**:1-8.
- Anonyme. 1990. Planting on furrows and mounds : 10-year result. N.-S. Dept. of Land and Forests. Truro, N.S.
- Anonyme. 2006. Qualité des plants - guide de l'évaluateur. MRNF, Ste-Foy, Québec.
- Archibold, O. W., C. Acton, et E. A. Ripley. 2000. Effect of

- site preparation on soil properties and vegetation cover, and the growth and survival of white spruce (*Picea glauca*) seedlings, in Saskatchewan. *Forest Ecology and Management* **131**:127-141.
- Bannan, M. W. 1942. Notes on the origin of adventitious roots in the native Ontario conifers. *American Journal of Botany* **29**:593-598.
- Bedford, L. et R. F. Sutton. 2000. Site preparation for establishing lodgepole pine in the sub-boreal spruce zone of interior British Columbia: the Bednesti trial, 10-year results. *Forest Ecology and Management* **126**:227-238.
- Bedford, L., R. F. Sutton, L. Stordeur, et M. Grismer. 2000. Establishing white spruce in the boreal white and black spruce zone - site preparation trials at Wownon and Iron Creek, British Columbia. *New Forests* **20**:213-233.
- Bedford, L. et M. von der Gonna. 1994. Site preparation : microsite selection and planting stock performance. B.C. Ministry of Forests, Victoria, B.C.
- Boateng, J. O., J. Heineman, L. Bedford, G. Harper, et A. F. L. Nemeč. 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.
- Boateng, J. O., J. L. Heineman, J. McClarnon, et L. Bedford. 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.
- 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 micro-site affecte la réponse initiale des plants de mélèze hybride en plantation. UQAM, Montréal.
- Buitrago, M., A. Paquette, N. Thiffault, N. Bélanger, et C. Messier. 2015. Early performance of planted hybrid larch: effects of mechanical site preparation and planting depth. *New Forests* **46**:319-337.
- Burton, P., L. Bedford, M. Goldstein, et M. Osberg. 2000. Effects of disk trench orientation and planting spot position on the ten-year performance of lodgepole pine. *New Forests* **20**:23-44.
- Coates, D. et S. Haeussler. 1990. Mechanical site preparation for cold site management. B.C. Ministry of Forests, Victoria, B.C.
- Edlund, L. et F. Jonsson. 1986. Swedish experience with ten years of mounding site preparation. Pages 1-8. *Dans* International Union of Forestry Research Organization, Grand Prairie, Alberta; Dawson Creek, B.C.
- English, B. 1996. Row scarification planting position trial: third trial update. *Silviculture Notebook* no. 23, Newfoundland Forest Service, Corner Brook, NFL.
- English, B. 1998. Row scarification planting position trial: fifth year results. *Silviculture Note book* no. 41, Newfoundland Forest Service, Corner Brook, NFL.
- Environnement Canada. 2016. Données des stations pour le calcul des normales climatiques au Canada de 1971 à 2000 : Chapais, Qc. Gouv. du Canada, Environnement et ressources naturelles. Toronto, Ont. [http://climate.weather.gc.ca/climate\\_normals/results](http://climate.weather.gc.ca/climate_normals/results). Date de modification : 2016-04-19.
- Forslund, R. R. et J. M. Paterson. 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.
- Gagné, P. et A. Paquette. 2008. Revue de littérature sur la préparation de terrain mécanique pour les mélèzes. Réseau Ligniculture Québec, Montréal, Qc.
- Gradowski, T., D. Sidders, T. Keddy, V. J. Lieffers, et S. M. Landhäusser. 2008. Effects of overstory retention and site preparation on growth of planted white spruce seedlings in deciduous and coniferous dominated boreal plains mixedwoods. *Forest Ecology and Management* **255**:3744-3749.
- Haeussler, S. 1989. Mounding for site preparation. B.C. Ministry of Forests, Victoria, B.C.
- Hawkins, C. B., T. W. Steele, et T. Letchford. 2006. The economics of site preparation and the impacts of current forest policy: evidence from central British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research* **36**:482-494.
- Hébert, F., P. Tremblay, J. Allaire, D. Walsh, et D. Lord. 2007. Remise en production des milieux ouverts sur stations sèches dans la pessières à mousses du Saguenay-Lac-Saint-Jean, Chibougamau Chapais : résultats 5 ans en plantation. UQAC, Chicoutimi, Qc.
- Hébert, F., J.-F. Boucher, D. Walsh, P. Tremblay, D. Côté, et D. Lord. 2014. Black spruce growth and survival in boreal open woodlands 10 years following mechanical site preparation and planting. *Forestry* **87**(2): 277-286.

- Heineman, J. L., L. Bedford, et D. Sword. 1999. Root system development of 12-year-old white spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss) on a mounded subhygric-mesic site in northern interior British Columbia. *Forest Ecology and Management* **123**:167-177.
- Hunt, J. A. et R. G. McMinn. 1988. Mechanical site preparation and forest regeneration in Sweden and Finland: implication for technology transfert. B.C. Ministry of Forests, Victoria, B.C.
- Kirk, R. E. 1982. *Experimental design : procedures for the behavioral sciences*. 2nd. edition. Brooks/Cole, Belmont, Calif.
- Krause, C., P.-Y. Plourde, J.-P. Girard, et M. Bouchard. 2014. Rendement anticipé des plantations d'épinette noire et de pin gris dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean. UQAC et MRNF, Chicoutimi, Qc.
- Lafleur, B., D. Pare, N. J. Fenton, et Y. Bergeron. 2011. Growth of planted black spruce seedlings following mechanical site preparation in boreal forested peatlands with variable organic layer thickness : 5-year results. *Annals of Forest Science* **68**:1291-1302.
- Letchford, T., D. Spittlehouse, et D. Draper. 1996. Mounding on an SBSwkl site near Prince George. Canadian forest Service, Victoria, B.C.
- Levasseur, V. 2015. Effet de la préparation de site de type monticules avec un Bräcke sur la croissance en plantation de l'épinette noire. UQAC, Chicoutimi, Qc.
- Macadam, A., R. F. Sutton, et L. Bedford. 2001. Site preparation for establishing lodgepole pine on backlog sites in the sub-boreal spruce zone. *Silviculture Note* 27, Victoria, B.C.
- MacIsaac, D. A., G. R. Hillman, et P. A. Hurdle. 2004. Alternative silvicultural systems for harvesting and regenerating spruce-dominated boreal mineral wetlands. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service. Edmonton, Alberta.
- Mackenzie, M. D. 1999. The effect of mechanical site preparation on soil properties, nutrient dynamics and tree growth : Tenth year results for two sites in northern British Columbia. M.Sc. Thesis. Simon Fraser University (Canada), Ann Arbor, B.C.
- 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, Ontario.
- McMinn, R. G. et I. B. Hedin. 1990. Site preparation : mechanical and manual. Pages 150-163. Regenerating British Columbia's Forests. University of British Columbia Press, Vancouver, B.C.
- Nesdoly, R. G. et K. C. J. Van Rees. 1998. Redistribution of extractable nutrients following disc trenching in Luvisols and Brunisols in Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science* **78**:367-375.
- Orlander, G., P. Gemmel, et J. Hunt. 1990. Site preparation: a Swedish overview. B.C. Ministry of Forests, Victoria, B.C.
- Paquette, A., Girard, J.-P. et D. Walsh. 2011. Deep planting has no short- or long-term effect on the survival and growth of white spruce, black spruce, and jack pine. *Northern Journal of Applied Forestry* **28**(3) : 23-36.
- Örlander, G., G. Hallsby, P. Gemmel, et C. Wilhelmsson. 1998. Inverting improves establishment of *Pinus contorta* and *Picea abies* - 10-year results from a site preparation trial in Northern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* **13**:160-168.
- Plante, M. 1987. Plantation sur terrain scarifié au Bräcke monticule. Projet 261-86-057. Rapport technique et financier. MRNF, Unité de gestion (26) Chibougamau. Chibougamau, Qc.
- Prégent, G., V. Bertrand, et L. Charette. 1996. Tables préliminaires de rendement pour les plantations d'épinette noire au Québec. Ministère des Ressources naturelles, Ste-Foy, Québec.
- Prégent, G. et S. Végiard. 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.
- Prescott, C. E., D. G. Maynard, et R. Laiho. 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 D. Dumais. 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 M. J. Keough. 2002. *Experimental design and data analysis for biologists*. University Press, Cambridge, UK.
- Ryans, M. et B. Sutherland. 2001. Site preparation - me-

- chanical. Pages 177-199. *Dans* R. G. Wagner et S. L. Colombo, éd. Regenerating the Canadian forest : principles and practice for Ontario. Fitzhenry & Whiteside, Markham, Ontario.
- SAS Institute Inc. 2015. JMP® 12 Fitting Linear Models. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Saucier, J.-P., J.-P. Berger, H. D'Avignon, et P. Racine. 1994. Le point d'observation écologique. Ministère des Ressources naturelles, Québec.
- Saucier, J.-P., B. J.-F., P. Grondin, et A. Robitaille. 2000. Les régions écologiques du Québec méridional (3e version). Ministère des Ressources naturelles. Ste-Foy, Québec.
- Saville, D. J. 1990. Multiple comparison procedures: the practical solution. *American Statistician* **44**:174-180.
- Scherrer, B. 1984. Biostatistiques. Gaetan Morin Éditeur, Chicoutimi, Qc.
- Shapiro-Wilk, S. S. et M. B. Wilk. 1965. An analysis of variance test for normality. *Biometrika* **52**:591-610.
- Smith, C. R. et B. J. Sutherland. 1989. Practice and biology of mechanical site preparation: why bother? . Pages 4-27. *Dans* Aspects of Site Preparation: Biology and Practice. Canadian Forestry Service, Ontario Region, Sault Ste. Marie, Ontario, Ontario Ministry of Natural Resources, Thunder Bay, Ontario, Fort Frances, Ontario.
- Sutherland, B.J. 1989. An evaluation of mound formation by the Bräcke moulder in the Interior British Columbia. Forestry Canada. Information Report O-X-399. Great Lakes Forestry Centre, Sault Sainte-Marie, Ontario.
- Sutherland, B. J. et F. F. Foreman. 1995. Guide to the use of mechanical site preparation equipment in northwestern Ontario. Ontario Ministry Natural Resources. Sault Ste. Marie, Ontario.
- Sutherland, B. et F. F. Foreman. 2000. Black spruce and vegetation response to chemical and mechanical site preparation on a boreal mixedwood site. *Canadian Journal of Forest Research* **30**:1561-1570.
- Sutton, R. F. 1983. Root growth capacity : relationship with field root growth and performance in outplanted jack pine and black spruce. *Plant and Soil* **71**:111-122.
- Sutton, R. F. 1984. Mounding site preparation evaluation of jack pine outplantings in a boreal Ontario study. Pages 66-77. *Dans* COJFRC Symposium proceedings 0-P-12. Great Lakes Forestry Centre, Timmings, Ontario.
- Sutton, R. F. 1987. Root growth capacity and field performance of jack pine and black spruce in boreal stand establishment in Ontario. *Canadian Journal of Forest Research* **17**:794-804.
- Sutton, R. F. 1991. Mounding site preparation for jack pine and black spruce in boreal Ontario: five-year results. COFRDA Rep. 3311, For. Can., Ont. Region, Sault Sainte Marie, Ontario.
- Sutton, R. F. 1993. Mounding site preparation : a review of European and North American experience. *New Forests* **7**:151-192.
- Sutton, R. F. et T. P. Weldon. 1993. Jack pine establishment in Ontario : 5-year comparison of stock types-plus-or-minus Bräcke scarification, mounding, and chemical site preparation. *Forestry Chronicle* **69**:545-553.
- Sutton, R. F., T. P. Weldon, et R. A. Haig. 1991. Conventional Bräcke site preparation as effective as mounding. Technical Note no.1, Forestry Canada, Ontario region. Sault Ste. Marie, Ontario.
- Tan, W., S. Blanton, et J. P. Bielech. 2008. Summer planting performance of white spruce 1 + 0 container seedlings affected by nursery short-day treatment. *New Forests* **35**:187-205.
- Tarroux, E., A. DesRochers, et J.-P. Girard. 2014. Growth and root development of black and white spruce planted after deep planting. *Forest Ecology and Management* **318**:294-303.
- Thiffault, N. 2005. Choix du microsite sur sol scarifié en forêt boréale - quelques remarques. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec.
- Thiffault, N. 2016. Effets à court terme du décapage de la matière organique sur la croissance et la nutrition d'épinettes noires et de pins gris mis en terre en forêt boréale. *Forestry Chronicle* **92**(2):210-220.
- Thiffault, N., G. Cyr, G. Prigent, R. Jobidon, et L. Charette. 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., N. Jobidon, et A. D. Munson. 2003a. Performance and physiology of large containerized and bare-root spruce seedlings in relation to scarification and competition in Québec (Canada). *Annales des Sciences Forestières* **60**:645-655.
- Thiffault, N., A. D. Munson, R. Fournier, et R. Bradley. 2005. La relation éricacées - conifères bonheur d'oppression ? *Le Naturaliste canadien* **129**:57-71.
- Thiffault, N., V. Roy, G. Prigent, G. Cyr, R. Jobidon, et J. Ménétrier. 2003b. La sylviculture des plantations résineuses au Québec. *Le Naturaliste canadien* **127**:63-80.

- Van Cleve, K., R. Barney, et R. Schlentner. 1981. Evidence of temperature control of production and nutrient cycling in two interior Alaska black spruce ecosystems. *Canadian Journal of Forest Research* **11**:259-274.
- Van Cleve, K., W. C. Oechel, et J. L. Hom. 1990. Response of black spruce (*Picea mariana*) ecosystems to soil temperature modification in interior Alaska. *Canadian Journal of Forest Research* **20**:1530-1535.
- von der Gonna, M. A. 1992. Fundamentals of mechanical site preparation. Victoria, B.C.
- Walsh, D., P. Tremblay, F. Hébert, J. Allaire, D. Côté, et D. Lord. 2012. Remise en production des milieux ouverts sur stations sèches dans la pessière à mousses du Saguenay-Lac-St-Jean et du nord du Québec : résultats 10 ans après la plantation pour l'épinette noire. UQAC, Chicoutimi, Qc.
- Wood, J. E. et R. F. Sutton. 1988. Jack pine establishment: effect of stock type, Bräcke scarification, mounding, and chemical site preparation : three-year result. Canadian forestry service, Ontario region. Great Lakes Forestry Centre. Sault Ste. Marie, Ontario.



