

Revue de la littérature sur la préparation de terrain mécanique pour les mélèzes

PIERRE GAGNÉ, ING.F., M.Sc.

Réseau Ligniculture Québec

ALAIN PAQUETTE, Ph.D.

Projet TRIADE, AbitibiBowater
Centre d'étude de la forêt, UQAM

Septembre 2008



Table des matières

INTRODUCTION	5
LES AVANTAGES DE LA PRÉPARATION DE TERRAIN	6
LES PRINCIPALES MÉTHODES DE PRÉPARATION DE TERRAIN MÉCANIQUE	9
• <i>Le déblaiement</i>	9
• <i>Le scarifiage par sillons</i>	11
• <i>Le scarifiage par monticules</i>	13
• <i>Le scarifiage par inversion</i>	18
CONCLUSION	20
REMERCIEMENTS	21
RÉFÉRENCES	21

Introduction

Au Québec, au cours des dernières années, quelques industries forestières ont démarré des programmes de reboisement en mélèze hybride (*Larix x marschlinsii*) et exotiques, soit les mélèzes d'Europe (*L. decidua*) et du Japon (*L. kaempferi*), notamment en vue de la production de bois de sciage, de cartons ou de panneaux à lamelles orientées de type OSB (*oriented strand board*). Le potentiel exceptionnel de productivité des mélèzes explique leur retour en force dans les programmes de reboisement. En effet, lorsque plantées sur des sites adéquats et fertiles, les meilleures variétés de mélèze hybride sélectionnées à ce jour peuvent produire de 197 à 357 m³/ha à 35 ans selon les régions écologiques, soit des rendements annuels moyens variant de 5,6 à 10,2 m³/ha/année (Perron, 2003). La productivité élevée des mélèzes

est caractérisée par le fort accroissement juvénile, ce qui rend ces espèces particulièrement intéressantes pour les plantations à courtes rotations (Stipanovic, 1999).

Toutefois, l'atteinte de hauts rendements sur de courtes rotations nécessite des pratiques sylvicoles adaptées aux particularités des mélèzes. De jeunes plantations pourront devenir des échecs si les aménagistes ignorent les caractéristiques et les besoins particuliers de ces essences à croissance rapide (Carter et Selin, 1987). La préparation de terrain mécanique est l'une des pratiques sylvicoles qui s'avèrent cruciales pour l'établissement des plants de mélèzes et leur croissance juvénile.

Du point de vue opérationnel, la culture du mélèze hybride est encore récente au Québec et très

peu d'expérimentations portant sur les méthodes de préparation de terrain ont été réalisées. Pourtant, la vision actuelle est qu'une préparation de terrain très intensive est nécessaire. Cette revue de littérature dresse un portrait des techniques de préparation de terrain mécanique présentement utilisées ainsi que des procédés qui pourraient être employés sur les parterres forestiers du Québec.

Les avantages de la préparation de terrain

Les effets de la préparation de terrain mécanique sur les propriétés des microsites de plantation et la croissance des plants sont grandement dépendants du type de préparation de terrain pratiqué, des caractéristiques initiales de l'humus forestier, de la nature du sol et des conditions environnementales locales (Thiffault *et al.*, 2003). Néanmoins, la préparation de terrain mécanique est considérée comme une méthode efficace pour favoriser l'établissement des plants. Ce traitement améliore notamment les conditions de température, d'humidité et de fertilité du sol (Örlander *et al.*, 1990; Sutton, 1993; Sutherland et Foreman, 2000). Il facilite également le travail des planteurs, particulièrement sur parterre forestier, car il déplace ou élimine en partie les déchets de coupe (von der Gönna, 1992). De plus, les futurs travaux d'entretien de la plantation seront facilités par la préparation de terrain (Prévost, 1992).

Plusieurs techniques peuvent être utilisées, de même que divers types de machineries. Peu importe la technique employée, les principaux objectifs sont d'ameublir le sol, de mélanger la matière organique au sol minéral, de fournir un bon environnement aux racines, de limiter le retour de la compétition et d'exposer le sol minéral. En effet, l'exposition du sol minéral est essentielle car la plantation directement dans l'humus forestier est à éviter.

L'humus se draine rapidement et il possède une capacité de rétention en eau plus faible que le sol minéral. La mise en terre des plants dans le sol minéral ou dans un mélange de sol minéral et de matière organique limitera les risques de stress hydriques chez les plants (Thiffault, 2005).

Ainsi, le but premier de la préparation de terrain est de créer un nombre suffisant de microsites adéquats en favorisant l'établissement, la survie et la croissance des plants qui seront reboisés (von der Gönna, 1992; Sutherland et Foreman, 1995). Dans une étude portant sur les effets de huit techniques de préparation de terrain sur la croissance des plants de pin lodgepole (*Pinus contorta* var. *latifolia*) en Colombie-Britannique, Bedford et Sutton (2000) rapportent que la majorité des traitements de préparation de terrain augmentent significativement la croissance des plants lorsque comparée avec la croissance observée dans les parcelles témoins non traitées. Également, en ce qui concerne plus particulièrement les mélèzes, Thiffault *et al.* (2004) mentionnent que le scarifiage mécanique a permis de doubler la hauteur moyenne des plants de mélèze laricin (*L. laricina*) 10 ans après leur mise en terre dans la forêt boréale au Québec. Le taux de survie des plants de mélèze a également été amélioré de façon

significative par la préparation de terrain mécanique.

Selon McKinnon *et al.* (2002), la préparation de terrain modifiera plusieurs facteurs dont plus particulièrement :

- la température du sol;
- la disponibilité en eau dans le sol;
- l'aération du sol;
- la disponibilité des éléments nutritifs;
- la végétation de compétition.

L'augmentation de la température du sol est un facteur très important dans le cadre du reboisement sur les parterres forestiers de la forêt boréale ou sous-boréale. Bedford et Sutton (2000) rapportent qu'en forêt boréale, la préparation de terrain permet de briser la couche isolante en surface, ce qui favorise une augmentation de la température du sol dans la zone d'enracinement des plants. L'échauffement du parterre forestier est encore plus important lorsque le sol minéral est exposé.

Selon Prévost (1992), le régime thermique du sol influence directement le fonctionnement du système racinaire et la croissance des racines augmentera avec la température du sol. Enfin, la préparation de terrain permettra une augmentation de la température plus rapidement au printemps, ce qui favorisera le développement des racines plus tôt dans la saison de croissance. Au Québec, puisque la saison de croissance est relativement courte, l'amélioration de la température du sol devient assurément une variable importante.

Le réchauffement du parterre forestier stimule également l'activité des micro-organismes et la décomposition de la matière organique (Vitousek et Matson, 1985). Selon Prévost (1992), la vitesse de décomposition par les bactéries et les champignons est effectivement largement contrôlée par la température et l'humidité du sol. De plus, Sutherland et Foreman (1995) mentionnent que la préparation de terrain peut augmenter la minéralisation de l'azote dans le sol en raison de l'augmentation de la température du sol combinée avec l'amélioration des conditions d'humidité de celui-ci lorsque la préparation de terrain mélange l'humus et le sol minéral. Le réchauffement du sol et la hausse de l'humidité pourront également avoir un impact positif en favorisant les réactions d'altération des minéraux riches en calcium, magnésium et potassium (Velbel, 1985). En conséquence, l'amélioration

de tous les facteurs ci-dessus mentionnés accroît l'activité biologique du sol et cause une augmentation du volume de sol favorable à la colonisation par les racines des arbres (Nadeau et Pluth, 1997). La capacité des racines à coloniser le sol est un facteur très important quant à la survie et à la croissance des plants mis en terre (Nordborg *et al.*, 2003).

En plus de préparer le sol en vue du reboisement, la préparation de terrain mécanique est également un traitement qui permet de réduire la végétation de compétition (Sutherland et Foreman, 1995), ce qui permettra de limiter les coûts des travaux d'entretien ultérieurs. En effet, le travail de la machinerie permet de détruire une partie de la végétation déjà en place et ralentit, dans une certaine mesure, le retour de la compétition. Par exemple, Thiffault *et al.* (2004) mentionnent que la préparation de terrain mécanique par scarifiage est essentielle afin de favoriser la croissance des résineux mis en terre sur les stations où la végétation de compétition est composée d'éricacées. L'efficacité de la lutte à la compétition est fonction du type de préparation de terrain utilisé ainsi que des caractéristiques du site, notamment le type de compétition déjà en place avant le traitement. Le moment de l'année pendant lequel est réalisée la préparation de terrain a également un effet sur l'efficacité de la lutte à la compétition. Ménétrier *et al.* (2005) recommandent de réaliser la préparation de terrain l'année

précédant la plantation, de la mi-août à la mi-septembre, pour éviter un retour excessif de la végétation de compétition en fin de saison et au printemps suivant.

Dans le cas des mélèzes, qui sont des essences particulièrement intolérantes à l'ombre, l'accès aux ressources (lumière, éléments nutritifs, eau) est un facteur important. Peu importe la technique de préparation de terrain utilisée, il est donc essentiel de lutter contre la végétation de compétition car celle-ci peut nuire rapidement à la croissance des mélèzes. À cet effet, dans le cadre d'une étude qui testait plusieurs techniques de préparation de terrain pour le reboisement en mélèze hybride, Bélanger et Paré (2005) mentionnent qu'après seulement deux années de croissance, c'est le retour de la végétation de compétition qui semblait affecter la croissance des plants de mélèze hybride et non plus le type de préparation de terrain. Une méthode de préparation de terrain qui freinera le retour hâtif de la compétition aura donc des effets bénéfiques sur la croissance des mélèzes.

En ce qui a trait aux considérations économiques de la préparation de terrain, Hawkins *et al.* (2006) ont démontré que ce traitement peut s'avérer rentable à long terme car il augmente le volume de bois qui sera récolté, lorsqu'on le compare au volume de bois récolté dans des secteurs qui n'ont pas eu de préparation de terrain. De plus, si la technique de préparation de terrain est particulièrement efficace en ce qui concerne la survie des plants et la lutte à la végétation de compétition, les besoins en traitements supplémentaires coûteux, comme le regarni de plantation ou le dégagement de la

compétition, pourront être réduits de façon notable. Les bénéfices financiers d'une préparation de terrain intensive sont également influencés par la période de révolution de la plantation (Gan *et al.*, 1998 ; Hawkins *et al.*, 2006). Dans le cas des plantations de mélèzes à courtes révolutions, on peut envisager que le retour sur l'investissement sera plus rapide et que les bénéfices économiques pourront s'avérer plus importants.



Figure 1
Plantation de mélèze hybride âgée de 7 ans
Photo: P. Gagné

Les principales méthodes de préparation de terrain mécanique

À ce jour, les principales techniques de préparation de terrain utilisées pour le reboisement en mélèzes au Québec sont le déblaiement et, dans une moindre mesure, le scarifiage par sillons à l'aide de machines de type TTS à disques mécaniques ou hydrauliques. De nouvelles techniques sont utilisées depuis peu à titre expérimental, dont le scarifiage par monticules, par inversion et par plusieurs passages successifs de TTS à disques.

Le déblaiement

Le déblaiement est une technique de préparation simple qui est fréquemment utilisée dans le cadre du reboisement en essences résineuses. À ce jour, il s'agit de la principale méthode qui est utilisée dans les plantations de mélèzes au Québec. Elle consiste à déplacer les résidus de coupe en formant des andains afin de dégager le parterre en vue du reboisement. Cette méthode de préparation de terrain procure de bons résultats en ce qui concerne la création de microsites en vue du reboisement

mais elle peut s'avérer moins efficace pour lutter contre la végétation de compétition (Coates et Haeussler, 1988).

Le principal équipement utilisé est la pelle râteau (figures 2 et 3), communément appelé le peigne, montée à l'avant d'un tracteur sur chenilles ou d'une débusqueuse (Dancause, 2008). Ce type d'équipement permet d'exposer partiellement le sol minéral tout en évitant d'enlever une trop grande partie du sol en

surface (Coates et Haeussler, 1988). Une pelle en V montée sur un bouteur peut également réaliser le déblaiement tout en créant des sillons qui favoriseront le travail des planteurs (Carter et Selin, 1987). Ces auteurs rapportent que ce type d'appareil a produit de bons résultats pour l'établissement de plantations de mélèze hybride dans le nord-est des États-Unis.



Figure 2
Déblaiement avec un peigne forestier monté sur un bouteur
Photo : Smurfit-Stone La Tuque



Figure 3
Peigne forestier monté sur une débusqueuse
Photo : P. Gagné

La préparation de terrain par déblaiement permet d'abîmer et d'arracher en partie la végétation de compétition. Toutefois, un déblaiement trop sévère peut conduire à un « scalpage » du sol et à une diminution de sa fertilité ; l'opérateur devra donc minimiser les perturbations du sol (Dancause, 2008). Dans le cas d'un déblaiement trop sévère, une importante partie de la matière organique du parterre forestier pourra être exportée dans les

andains, ce qui aura des effets négatifs sur la fertilité à long terme. En ce qui concerne la plantation en mélèzes, la conservation de la matière organique est un facteur important. Dans leur étude portant sur l'effet de quelques techniques de préparation de terrain sur la croissance juvénile du mélèze hybride, Bélanger et Paré (2005) mentionnent que l'enlèvement de la matière organique a eu des effets néfastes sur la croissance et la vigueur des jeunes plants,

notamment en raison de l'effet négatif sur la capacité d'échange cationique et sur la disponibilité en azote total. Afin de protéger la couche d'humus présente sur le parterre forestier, ces auteurs recommandent de réaliser le déblaiement tard à l'automne, après les premiers gels au sol. Le déblaiement peut également être réalisé tôt en hiver, lorsque la couverture de neige n'est pas trop épaisse.

Le scarifiage par sillons

La méthode de scarifiage par sillons consiste à travailler le sol en produisant des sillons de façon à créer des microsites propices à la croissance des plants (Dancause, 2008). Cette technique creuse des sillons et forme des bourrelets qui seront composés d'un mélange de sol organique, de débris et de sol minéral (Coates et Haeussler, 1988).

Au Québec, le principal appareil utilisé est le scarificateur TTS, un scarificateur à disques conçu de façon à tracer deux sillons continus. Il a d'abord été mis au point par la *Finnish Work Efficiency Association* (TyöTehoSeura), d'où l'appellation TTS (Ryans, 1983). Les plus récentes générations de TTS sont hydrauliques et ces appareils sont composés de deux disques motorisés, chacun étant monté sur un bras indépendant actionné hydrauliquement. L'écartement entre les deux bras peut être ajusté au besoin. Les disques peuvent être en rotation plus ou moins rapide et les bras peuvent exercer une pression hydraulique vers le sol plus ou moins prononcée, ce qui permet d'ajuster la profondeur des sillons créés. L'angle des disques peut aussi être ajusté afin d'augmenter ou de diminuer l'agressivité de ceux-ci. L'opérateur peut donc adapter le comportement de la machine selon les conditions variables des sites à préparer. La rotation des disques permet de déplacer les débris de coupe et la pression hydraulique aide les disques à trancher le sol en retournant le matériel, ce qui

crée les deux sillons. Ainsi, un seul passage de TTS permet de créer des sillons parallèles faciles à reconnaître, ce qui contribue à favoriser une productivité élevée lors de la plantation manuelle des arbres (Ryans, 1983).

Les TTS hydrauliques sont généralement montés sur des débusqueuses de modèles et de formats variés (figure 4). Ils peuvent donc être utilisés dans plusieurs types de terrains, notamment des terrains accidentés. Ces appareils sont reconnus pour leur aptitude à préparer les microsites en vue du reboisement en résineux, mais également pour leur productivité, leur flexibilité et leur robustesse. Dans le cas de la plupart des essences résineuse reboisées, un seul passage de TTS permet de créer les microsites adéquats, et ce, à moindre coût. Selon Bedford et Sutton (2000), les résultats

fournis par ces machines pour préparer des terrains forestiers dépendent de plusieurs variables que peut contrôler l'opérateur de la machinerie, soit la vitesse de déplacement, la profondeur des sillons, l'espacement entre ceux-ci, l'angle des disques ainsi que la pression appliquée sur ceux-ci. Les caractéristiques du site (quantité de débris de coupe, pierrosité, etc.) sont également des facteurs qui vont influencer le résultat. Puisque plusieurs composantes des TTS sont ajustables, ces machines représentent des outils très polyvalents pour les aménagistes forestiers. Il s'agit présentement d'un appareil largement utilisé au Québec pour préparer des terrains en vue du reboisement.

Plusieurs études rapportent les avantages du scarifiage par sillons pour la croissance et la survie de plants résineux (Tellier *et al.*,



Figure 4
Scarificateur TTS hydraulique monté sur une débusqueuse
Photo: P. Gagné

1995; Sutton et Weldon, 1995, 2003; Mattsson et Bergsten, 2003; Prévost et Dumais, 2003; Macadam et Kabzems, 2006). Dans le cas de jeunes plantations de mélèze hybride, Bélanger et Paré (2005) ont observé de bons résultats de croissance sur un site préparé par un scarificateur TTS. Ces auteurs suggèrent que c'est principalement la préservation de la matière organique sur le parterre forestier qui a favorisé la croissance des plants de mélèzes.

Lors de la mise en terre des plants sur un parterre préparé à l'aide du scarifiage par sillons, le choix exact du microsite n'est pas à négliger (Thiffault, 2005). Les travaux de Burton *et al.* (2000) portaient sur le choix de l'emplacement du microsite sur un sol préparé par un passage de TTS hydraulique. Les résultats obtenus démontraient que la charnière (ou l'épaulement), qui est située entre le sillon et le bourrelet du sillon, présentait le meilleur choix de microsite (figure 5). Les données de 10 années de croissance chez le pin lodgepole ont mis en évidence des croissances supérieures sur ces microsites lorsque comparées aux croissances des plants mis en terre directement à l'intérieur du sillon ou bien directement sur

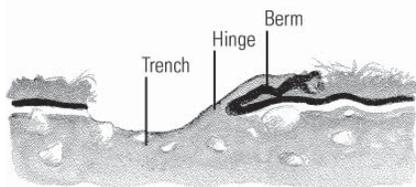


Figure 5
La charnière (*hinge*) constitue le meilleur choix de microsite (tiré de von der Gönna, 1992)



Figure 6
Parterre forestier préparé par 3 passages successifs de TTS hydraulique
Photo: M. Girard

le sommet du bourrelet. Plusieurs auteurs mentionnent également que la charnière constitue le meilleur choix de microsite (Örlander *et al.*, 1990; Sutherland et Foreman, 1995; Macadam et Kabzems, 2006).

Dans quelques régions du Québec, plusieurs passages successifs de TTS sont réalisés pour préparer des terrains forestiers en vue du reboisement en peuplier hybride (*Populus spp.*). Cette préparation de terrain lourde permet de détruire une importante partie de la végétation de compétition qui était initialement présente sur la superficie à traiter (Bilodeau-Gauthier *et al.*, 2008) (figure 6). Haeussler *et al.* (2002) rapportent qu'une préparation de terrain lourde favorise toutefois l'établissement d'une végétation de compétition qui n'était pas présente auparavant sur le site. Cette préparation sévère va donc largement diminuer le retour (par rejets de souche,

par drageonnement ou par marcottage) de la végétation qui était présente auparavant et permettre davantage la germination des graines de nouvelles espèces. On peut alors assister à un changement important dans la composition des espèces de compétition sur le site. De nouvelles espèces peuvent alors dominer le parterre, des espèces ayant des stratégies de compétition et de dispersion différentes. Les méthodes de contrôle ultérieur de la compétition pourront donc être affectées.

Malgré leur grande polyvalence, les scarificateurs TTS ne peuvent pas être utilisés dans toutes les conditions rencontrées en forêt. Selon Burton *et al.* (2000), puisque les scarificateurs TTS produisent des sillons continus, il est déconseillé d'utiliser cette technique de préparation de terrain dans le sens parallèle à une pente assez prononcée afin de ne pas favoriser l'érosion par l'écoulement de l'eau de surface. L'opérateur doit donc adapter l'orientation des sillons en fonction des caractéristiques du parterre forestier à préparer. Le scarifiage peut également être réalisé dans

le sens de la pente mais de façon intermittente afin d'éviter l'érosion (von der Gönna, 1992). La pente prononcée du site présente également un important facteur limitatif pour les déplacements d'un scarificateur TTS. Ryans (1983) mentionne que ce type d'appareil a été incapable de scarifier un secteur accidenté présentant une pente de plus de 25%. Enfin, l'utilisation des TTS est déconseillée sur les sols humides et sur les parterres présentant beaucoup de débris de coupe, de roches ou de souches hautes (Coates et Haeussler, 1988).

Le scarifiage par monticules

La technique de préparation de terrain par monticules, ou mise en buttes, consiste à produire de façon artificielle des monticules de sol afin de créer un ou plusieurs microsites en vue du reboisement (figure 10). 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.

Bien que des monticules soient réalisés par la même machinerie sur un même site, leurs propriétés (forme, volume, composition, texture, substrat) peuvent varier considérablement. Il n'y a pas de forme ou de dimension de monticules qui garantissent assurément le succès de ce type de préparation de terrain. Tout dépend effectivement de la nature du site à préparer, notamment en

ce qui concerne la structure du sol, sa profondeur, sa texture, son drainage ainsi que son contenu en matière organique (Macadam et Bedford, 1998). En général, les monticules sont composés de sol minéral et de matière organique, ces deux constituants étant en proportions variables et plus ou moins mélangés. La composition, la stabilité et la fertilité des monticules dépendent donc directement du substrat présent sur le parterre forestier. Pour des raisons économiques, le scarifiage par monticules est plus particulièrement pratiqué en zone boréale dans des secteurs qui présentent des contraintes particulières, dont notamment les sols humides ou mal aérés, les sols froids et les secteurs dans lesquels la compétition est agressive (Sutton, 1993).

Selon plusieurs auteurs, cette technique de préparation de terrain présente plusieurs avantages. Elle peut être utilisée notamment afin d'améliorer le drainage des microsites et l'aération du sol tout en réduisant la végétation de compétition (Haeussler, 1989). Elle favorise également une augmentation de la température du sol dans la zone d'enracinement des plants. Aussi, les monticules constituent des microsites surélevés qui réduisent les dégâts causés à la base des plants par les rongeurs (Haeussler, 1989; Örlander *et al.*, 1990). De plus, la création de monticules est un traitement très localisé qui n'affecte pas tout le parterre forestier à préparer. Selon von der Gönna (1992), si le nombre de microsites à l'hectare n'est pas trop élevé, ce type de préparation de terrain affecte uniquement de

10 à 30% de la surface du secteur traité. Ce traitement est favorisé au Québec dans certaines zones sensibles en ce qui concerne l'acceptabilité sociale.

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). Tel que 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). De plus, la formation de microsites surélevés ameublisse le sol, réduit sa densité apparente et augmente sa porosité (Örlander *et al.*, 1990). Le scarifiage par monticules permet donc aux racines de croître dans un environnement nettement favorable, car le microsite est plus chaud, plus meuble et bien aéré (Heineman *et al.*, 1999). Dans une étude portant sur la structure du système racinaire d'épinettes situées dans une plantation âgée de 12 ans, ces auteurs ont démontré que les plants situés sur des monticules présentaient plus du double de racines, ainsi que des racines plus volumineuses, lorsque comparés avec les plants situés sur des terrains non traités. Les plants situés sur les monticules présentaient également une

architecture symétrique qui fournit à l'arbre une stabilité adéquate à long terme.

Selon Bedford *et al.* (2000), la préparation de terrain par monticules peut s'avérer particulièrement bénéfique dans certains secteurs mal drainés. Les jeunes plants étant surélevés par rapport au parterre forestier, ils souffriront moins de l'excès d'eau dans le sol, particulièrement au printemps. Macadam et Bedford (1998) mentionnent également que ce type de préparation de terrain peut être favorable dans les sols mal aérés et froids.

Plusieurs auteurs rapportent que les monticules freinent le retour de la compétition (Haeussler, 1989; Sutton, 1993; Sutherland et Foreman, 2000; Bilodeau-Gauthier *et al.*, 2008). Les jeunes plants peuvent ainsi bénéficier davantage de la lumière et des ressources en eau et en nutriments dans le sol. Selon Haeussler (1989), les monticules peuvent demeurer exempts de compétition pendant deux à quatre ans, ce qui peut être suffisant pour que les plants deviennent libres de croître. Également, Sutton et Weldon (1993) ont confirmé l'efficacité des monticules pour la croissance juvénile du pin gris (*Pinus banksiana*) sur un parterre forestier envahi par une forte compétition en graminées.

Des études ont démontré que la dimension des monticules a un effet sur les plants reboisés. Dans leur projet de recherche portant

sur la préparation de terrain pour de jeunes plants de pin gris, Sutton et Weldon (1993) mentionnent que des monticules plus gros (20 litres plutôt que 10 litres) ont favorisé le volume des plants après cinq années de croissance, particulièrement les monticules de sol minéral déposé directement sur le sol organique. Parallèlement, Sutherland et Foreman (2000) ont obtenu une meilleure croissance chez des plants d'épinette noire (*Picea mariana*) mis en terre sur des monticules de 70 litres. Également, dans des tests comparant les effets de plusieurs méthodes de préparation de terrain et plusieurs dimensions de monticules, la technique qui consistait à créer les plus gros monticules a généré les meilleurs taux de survie et les plus fortes croissances chez des plants d'épinettes mesurés 10 ans après la mise en terre (Sutton *et al.*, 2001), 15 ans après la mise en terre (Bedford *et al.*, 2000) et même 20 ans après la mise en terre des plants (Boateng *et al.*, 2006). Dans le cadre de ces études, les plus gros monticules étaient constitués de 20 cm de sol minéral. Enfin, dans le cadre du reboisement en essences résineuses, Haeussler (1989) recommande que la hauteur des monticules n'excède pas 40 cm.

En termes de machinerie, c'est principalement le *Bräcke Mounder* qui est la machine utilisée pour créer de petits monticules (figure 7). Selon Bedford *et al.* (2000), le *Bräcke Mounder* crée des monticules qui sont de petites tailles, soit des buttes qui sont composées d'à peine 2 à 6 centimètres de sol minéral. 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 Gönna, 1992).

Les excavatrices sont aussi fréquemment utilisées, particulièrement en Colombie-Britannique, pour réaliser des préparations de terrain par monticules (Haeussler, 1989; Bedford *et al.*, 2000; Sutton *et al.*, 2001). Au Québec, quelques essais ont été réalisés avec des excavatrices sur chenilles, notamment dans le cadre de plantations de peuplier hybride. Un des avantages de cette technique de préparation de terrain, lorsqu'elle est réalisée par une excavatrice, est qu'elle peut être pratiquée dans des secteurs plus accidentés ou plus abrupts, de même que sur des terrains particulièrement hétérogènes. En effet, une excavatrice sur chenilles a plus de liberté de déplacement. Ainsi, les secteurs dans lesquels la pente est assez prononcée et les parterres forestiers présentant de nombreux débris de coupe sont des superficies qui peuvent

maintenant être préparées à l'aide de ce type de machinerie. Une excavatrice à chenilles utilisée pour réaliser des monticules peut opérer sur des pentes de 45 % (Coates et Haeussler, 1988), et même sur des terrains allant jusqu'à 50 % d'inclinaison (von der Gönna, 1992).

L'excavatrice peut produire n'importe quel format de monticules, selon la taille de la pelle, les caractéristiques du site et l'essence qui y sera reboisée. Le nombre de microsites à l'hectare est également une variable qu'on peut facilement contrôler. Karlsson *et al.* (2002) suggèrent que les monticules soient compressés par l'excavatrice qui les réalise afin d'éviter les poches d'air. Toutefois, si les monticules

sont créés à l'automne et que le reboisement est réalisé au printemps suivant, les monticules se seront compactés de façon naturelle. Sutton (1993) recommande effectivement de laisser passer un hiver avant d'effectuer la mise en terre des plants afin que le matériel se tasse et se stabilise.



Figure 7
À gauche, le *Bräcke Mounder* et à droite, un disque de scarificateur TTS
Photo: P. Gagné

Coates et Haeussler (1988) mentionnent que le principal désavantage de l'utilisation des excavatrices est la plus faible productivité de ces machines, ce qui peut nécessiter des coûts plus élevés que les techniques de préparation de terrain par déblaiement ou par TTS. Ainsi, l'expérience et l'habileté de l'opérateur de la machine sont

des facteurs importants qui influencent beaucoup la qualité du travail et la productivité, mais également la rentabilité de cette opération. De plus, des trous assez volumineux peuvent être créés par l'excavatrice lorsqu'elle fabrique les monticules. Il peut donc en résulter un parterre forestier passablement accidenté (figure 8), ce qui peut représenter

un danger pour les déplacements subséquents de la main d'œuvre, surtout si le nombre de microsites désirés par hectare est élevé. Enfin, l'utilisation de la pelle mécanique aux fins de reboisement en résineux (plus de 1 100 microsites par hectare) n'a pas été évaluée à ce jour sur les parterres forestiers du Québec.



Figure 8

Monticules créés sur un parterre forestier à l'aide d'une excavatrice
Photo : P. Gagné

Ainsi, la préparation de terrain par monticules n'offre pas que des avantages, elle peut même s'avérer néfaste pour la croissance juvénile d'une plantation si le traitement est mal réalisé ou s'il est appliqué sur un site inapproprié. Par exemple, plusieurs auteurs mentionnent que les plants situés sur les monticules sont davantage susceptibles de souffrir d'un manque d'eau lors d'une sécheresse par rapport aux plants reboisés à la hauteur du parterre forestier (Haeussler, 1989 ; Örlander *et al.*, 1998 ; Sutherland et Foreman, 1995). Ainsi, la planification des travaux de

préparation de terrain à l'aide des monticules doit tenir compte du fait que des conditions extrêmes de sécheresse à la surface du sol, même passagères, peuvent décider du succès de ce type de traitement (Prévost, 1992). Les risques sont plus élevés durant la première saison de croissance, alors que le volume de racines des plants est très faible (Macadam et Bedford, 1998). Bedford *et al.* (2000) mentionnent également que les monticules les plus gros favorisent l'échauffement du sol, mais qu'ils peuvent aussi favoriser l'assèchement de celui-ci. Selon Coates et Haeussler (1988), il

est donc déconseillé d'utiliser la méthode par monticules sur les sols à texture très grossière, comme les sols très sableux, car les monticules pourront se dessécher rapidement. De plus, si la forme du monticule est trop aiguë, il y a risque d'érosion par le vent et plus particulièrement par la pluie (figure 9). On peut donc s'attendre à ce que le volume des monticules hauts et étroits diminue au fil des ans. Haeussler (1989) recommande de créer des monticules au sommet plat ou concave plutôt que conique afin de favoriser la capture de l'eau de pluie et pour éviter l'érosion.



Figure 9

Érosion sur un monticule créé pour le peuplier hybride
Photo: D. Paré

De plus, les plants situés sur un monticule peuvent être davantage sensibles aux dégâts causés par le gel. En effet, en hiver, les racines situées dans le monticule peuvent être exposées à des températures plus froides (Haeussler, 1989; Örlander *et al.*, 1990). Toutefois, les monticules plus gros semblent présenter moins de risques en ce qui concerne les dommages causés par le gel (Sutton, 1993).

En ce qui concerne plus particulièrement le scarifiage par monticules à l'aide d'une excavatrice sur les parterres forestiers québécois, ce type de traitement est peu utilisé et très peu documenté. Dans le cadre d'une expérimentation récente portant sur différentes techniques de préparation de terrain pour le peuplier hybride au Québec, Bilodeau-Gauthier *et al.* (2008) rapportent que la préparation de terrain par monticules

a significativement favorisé l'ameublissement du sol ainsi que son réchauffement. Le sol meuble des monticules a permis un meilleur enracinement des jeunes plants et cette technique de préparation de terrain a également favorisé la croissance des plants, lorsque comparée avec les autres techniques ainsi qu'avec les parcelles témoins non préparées. De plus, les plants situés sur les monticules présentaient le taux de mortalité le plus faible trois ans après la mise en terre. Enfin, mentionnons que dans la région de la Haute-Mauricie ainsi que dans quelques régions du sud du Québec, la technique de scarifiage par monticules à l'aide d'excavatrices est un traitement fréquemment utilisé depuis peu dans le cadre du reboisement en peuplier hybride en raison des résultats positifs obtenus depuis quelques années.

Ainsi, la méthode de préparation de terrain par monticules offre généralement de bons résultats, du moins à court terme (Sutton, 1993) et à moyen terme (Mattsson et Bergsten, 2003). Plusieurs études rapportent effectivement les avantages indéniables de ce type de préparation de terrain en ce qui concerne la croissance juvénile et la survie des plants, mais les effets à long terme sont peu documentés. De plus, dans les principales études portant sur cette méthode, les essences reboisées étaient des pins ou des épinettes. Enfin, aucune étude portant sur cette technique pour le reboisement en mélèzes n'a été répertoriée.

Le scarifiage par inversion

L'inversion est une technique de préparation de terrain peu utilisée à ce jour. Cette technique consiste à créer un microsite en inversant le sol à l'aide d'une excavatrice. Celle-ci recueille environ 0,5 m² de surface de sol, avec une profondeur d'environ 20 cm sous la matière organique, pour ensuite remettre le matériel dans le trou d'origine en le retournant de façon à exposer le sol minéral à la surface en évitant de créer un monticule (Hallsby et Örlander, 2004) (figure 10). Le résultat

obtenu est un microsite constitué de matière organique et d'humus recouvert de sol minéral, et ce microsite est situé au même niveau que le reste du parterre forestier (figure 11). Cette technique permet de créer le nombre désiré de microsites à l'hectare et elle peut être réalisée à l'automne, tandis que la mise en terre des plants se fera au printemps suivant.

Le scarifiage par inversion est donc une technique de préparation de terrain qui minimise les perturbations du sol et les impacts environnementaux sur le parterre forestier. En Suède, cette technique de préparation de terrain est de plus en plus appréciée, notamment en ce qui concerne les valeurs esthétiques et récréatives de la forêt. En effet, la technique permet de conserver près de 50 % du parterre forestier intact (Hallsby et Örlander, 2004).

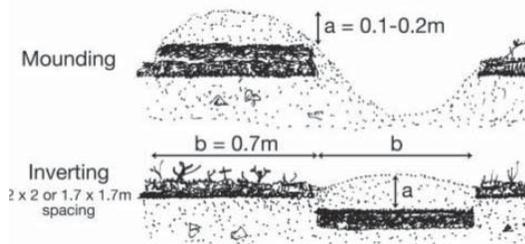


Figure 10
En haut, le scarifiage par monticules (*mounding*) et en bas, le scarifiage par inversion (*inverting*) (tiré de Hallsby et Örlander, 2004)



Figure 11
Microsites créés à partir de la méthode par inversion
Photo : M. Girard

Le principal avantage de l'inversion est qu'elle permet de conserver la couche d'humus intacte sous le sol minéral, plutôt que de les mélanger complètement. Plusieurs études rapportent effectivement que la conservation de la couche d'humus est bénéfique pour la croissance des plants. En effet, selon Nesdoly et Van Rees (1998) et Nordborg *et al.* (2003), la disponibilité en azote est moindre pour des semis plantés directement dans un sol minéral dépourvu de matière organique.

Une étude suédoise a comparé la méthode par inversion avec le labourage, les monticules et le scarifiage à disques. Dix ans après la mise en terre de plants d'épinette de Norvège (*Picea abies*) et de pin lodgepole, la hauteur de ceux-ci était de 35 % supérieure avec la technique d'inversion comparativement aux hauteurs issues du scarifiage par monticules et à la herse, et de 100 % supérieure lorsque comparée à la hauteur des plants situés dans les parcelles témoins qui n'avaient subi aucune préparation de terrain (Örlander *et al.*, 1998). De plus, les auteurs mentionnent que le taux de survie des plants était très élevé (soit 98 %) dix ans après la mise en terre. Le développement plus rapide des plants est probablement causé par une plus grande disponibilité en éléments nutritifs

et par la facilité des plants à s'approvisionner en eau. Également, les auteurs suggèrent que l'ameublissement du sol a favorisé le développement racinaire des jeunes plants. Lors de l'établissement de ceux-ci, leur capacité d'aller puiser l'eau dans le sol est primordiale. Après la phase d'établissement, la disponibilité en éléments nutritifs devient de plus en plus importante. Un bon microsite devrait donc favoriser la disponibilité en éléments nutritifs, permettre aux plants un accès à l'eau puis enrayer le plus possible la compétition. Bien que l'effet de l'inversion sur la végétation compétitive n'ait pas été évalué dans cette étude, les auteurs suggèrent que la présence du sol minéral dans les microsites retarde l'établissement de la compétition près des plants.

Selon Hallsby et Örlander (2004), l'inversion crée de meilleures conditions de croissance racinaire et elle favorise la minéralisation des éléments nutritifs, ce qui explique la meilleure croissance des plants observée à partir de cette technique de préparation de terrain. Les auteurs mentionnent également que cette technique favorise un réchauffement plus rapide du microsite au printemps, de même qu'un réchauffement plus en profondeur. De plus, puisque les microsites créés par

l'inversion se trouvent au même niveau que le parterre forestier, les plants qui seront reboisés seront moins sensibles au gel ou à la dessiccation que des semis plantés sur un monticule.

En résumé, la technique d'inversion semble favoriser la disponibilité en éléments nutritifs, tout en permettant aux plants un approvisionnement en eau. Il n'a toutefois pas été démontré que cette technique est particulièrement efficace pour limiter la végétation compétitive.

Au Québec, puisque le dégagement de plantations sur sols forestiers se fait essentiellement de façon manuelle, le scarifiage par inversion est une technique qui pourrait faciliter le travail des débroussaillers manuels si on la compare à la technique des monticules. En effet, sur un parterre forestier préparé à l'aide des monticules, les débroussaillers doivent composer avec la présence de nombreux trous; cette réalité les force à ralentir le travail et les expose à davantage de risques de blessures.

Conclusion

Selon McKinnon *et al.* (2002), pour obtenir les meilleurs résultats suite à la préparation de terrain mécanique, il faut d'abord bien connaître les caractéristiques du site à traiter ainsi que les exigences de l'espèce que l'on désire reboiser. Plusieurs facteurs peuvent affecter l'efficacité et la rentabilité d'une préparation de terrain mécanique : déchets de coupe, épaisseur du sol, pente, pierrosité, hauteur des souches résiduelles, expérience de l'opérateur, etc. La disponibilité de la machinerie est également une variable importante à considérer. Ces facteurs pourront guider le choix de la technique à utiliser afin d'obtenir les meilleurs résultats aux meilleurs coûts possibles.

Puisque les résultats obtenus à partir des différentes méthodes de préparation de terrain mécanique sont variables et qu'ils dépendent beaucoup des caractéristiques des stations, il n'y a pas de méthode universelle qui saurait garantir le succès de l'établissement de la plantation. On peut cependant retenir que le fait de perturber le sol tout en préservant la matière organique sur le site est souhaitable. Les techniques qui permettent de mieux contrôler la compétition sont à privilégier mais, encore une fois, ces techniques peuvent varier en fonction des conditions des sites et du type de compétition (par exemple graminées versus feuillus intolérants). Les méthodes de préparation de terrain qui changent la microto-

pographie du site en créant des monticules ont souvent donné de bons résultats. Il faut cependant limiter la taille des monticules dans les matériaux très grossiers. Par contre, dans les sites ayant un drainage plus lent, ces techniques pourraient s'avérer avantageuses étant donné que le mélèze hybride, contrairement à son cousin laricin, a une très faible tolérance au mauvais drainage.

Dans le cas des essences à croissance rapide comme les mélèzes hybrides et les mélèzes exotiques, l'aménagiste vise des rotations très courtes, variant de 25 à 45 ans. L'efficacité de la préparation de terrain sera donc cruciale pour la croissance juvénile des plants. De plus, si une mauvaise préparation de terrain compromet la croissance et la survie de la plantation, les efforts déployés en amélioration génétique de ces essences seront annihilés. Enfin, la rentabilité économique d'une préparation de terrain efficace sera évidente si elle permet en effet de raccourcir la rotation de la plantation de quelques années.

La plupart des études réalisées sur les techniques de préparation de terrain pour les résineux portent sur les pins et les épinettes. Même si ces études peuvent fournir de bons indices, il serait hasardeux d'extrapoler leurs résultats sur une essence à croissance rapide comme le mélèze hybride. Dans le cas des mélèzes, très peu d'études portant sur les effets de divers types

de préparation de terrain ont été répertoriées. Ainsi, beaucoup reste encore à démontrer quant aux effets bénéfiques de la préparation de terrain dans le cadre de la culture de ces essences. Également, la préparation de terrain est fréquemment perçue comme très importante pour diminuer les coûts d'entretien, mais les bénéfices réels des différentes techniques de préparation de terrain pour diminuer les coûts ultérieurs d'entretien dans les plantations de mélèzes demeurent à investiguer et à documenter. Des projets de recherche récents qui sont en cours au Québec pourront apporter de nouvelles connaissances en ce qui concerne la sylviculture de ces essences à croissance rapide, mais également en ce qui a trait à la rentabilité économique.

Enfin, pour rencontrer des objectifs d'acceptabilité et de productivité des plantations intensives, il y aurait lieu de développer des systèmes utilisant des préparations partielles, réduisant ainsi les coûts et les impacts environnementaux, et augmentant l'acceptabilité sociale par un accroissement de la qualité visuelle et de la diversité biologique du système, tout en mettant en valeur une régénération naturelle déjà présente en accompagnement. Les projets de recherche présentement en cours en Haute-Mauricie dans le cadre du projet Triade promettent d'apporter de nouvelles connaissances sur le sujet.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier David Paré (Service canadien des forêts) et Nelson Thiffault (ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec) pour leur contribution à la révision de ce texte.

Références

- 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. *For. Ecol. Manage.* 126(2): 227-238.
- Bedford, L., R.F. Sutton, L. Stordeur et M. Grismer. 2000. Establishing white spruce in the boreal white and black spruce zone. *New Forests* 20(3): 213-233.
- Bélanger, N. et D. Paré. 2005. Incidence de l'aménagement du sol sur la productivité et la nutrition juvéniles de mélèzes hybrides en Mauricie. Rapport présenté à Smurfit-Stone, février 2005, 31 p.
- Bilodeau-Gauthier, S., P. Gagné, D. Paré et C. Lavoie. 2008. Mise en place d'un dispositif expérimental pour tester l'impact de plusieurs traitements de préparation de terrain sur le peuplier hybride dans la sapinière à bouleau blanc du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Rapport d'étape dans le cadre du Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier - Volet I du MRNF, mars 2008, 16 p.
- 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. *Can. J. For. Res.* 36(10): 2386-2399.
- 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(1): 23-44.
- Carter, K.K. et L.O. Selin. 1987. Larch plantation management in the Northeast. *North. J. Appl. For.* 4(1): 18-20.
- Coates, D. et S. Haeussler. 1988. A Guide to the use of mechanical site preparation equipment in north central British Columbia. Canadian Forestry Service, British Columbia Ministry of Forests and Lands, 69 p.
- Dancause, A. 2008. Le reboisement au Québec. Guide technique. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, 177 p.
- Gan, J., S.H. Kolison Jr., J.H. Miller et T.M. Hargrove. 1998. Effects of site preparation on timber and non-timber values of loblolly pine plantations. *For. Ecol. Manage.* 107: 47-53.
- Haeussler, S. 1989. Mounding for site preparation. British Columbia Ministry of Forests, FRDA Memo no 100, 12 p.
- Haeussler, S., L. Bedford, A. Leduc, Y. Bergeron et J.M. Kranabetter. 2002. Silvicultural disturbance severity and plant communities of the southern Canadian boreal forest. *Silva Fennica* 36(1): 307-327.
- Hallsby, G. et G. Örlander. 2004. A comparison of mounding and inverting to establish Norway spruce on podzolic soils in Sweden. *Forestry* 77(2): 107-117.
- Hawkins, C.B.D., T.W. Steele et T. Letchford. 2006. The economics of site preparation and the impacts of current forest policy: evidence from central British Columbia. *Can. J. For. Res.* 36(2): 482-494.
- 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. *For. Ecol. Manage.* 123(2-3): 167-177.
- Karlsson, M., U. Nilsson et G. Örlander. 2002. Natural regeneration in clear-cuts: effects of scarification, slash removal and clear-cut age. *Scand. J. For. Res.* 17(2): 131-138.
- Macadam, A. et L. Bedford. 1998. Mounding in the sub-boreal spruce zone of west-central British Columbia: 8-year results. *For. Chron.* 74 (3): 421-427.
- Macadam, A. et R. Kabzems. 2006. Vegetation management improves early growth of white spruce more than mechanical site preparation treatments. *North. J. Appl. For.* 23(1): 35-46.
- Mattsson, S. et U. Bergsten. 2003. *Pinus contorta* growth in northern Sweden as affected by soil scarification. *New Forests* 26(3): 217-231.
- McKinnon, L.M., A.K. Mitchell et A. Vyse. 2002. The effects of soil temperature and site preparation on subalpine and boreal tree species: a bibliography. Information Report BC-X-394. Canadian Forest Service; Pacific Forestry Centre, Victoria, British Columbia, 36 p.
- Ménétrier, J., M. Perron, G. Daoust et G. Sirois. 2005. Forêt 2020 - Le boisement de friches. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, Service canadien des forêts. Notice d'information, 24 p.

-
- Nadeau, L.B. et D.J. Pluth. 1997. Spatial distribution of lodgepole pine and white spruce seedling roots 10 years after deep tillage of a Gray Luvisol. *Can. J. For. Res.* 27: 1606-1613.
- Nesdoly, R.G. et K.C.J. Van Rees. 1998. Redistribution of extractable nutrients following disc trenching on Luvisols and Brunisols in Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.* 78: 367-375.
- Nordborg, F., U. Nilsson et G. Örlander. 2003. Effects of different soil treatments on growth and net nitrogen uptake of newly planted *Picea abies* (L.) Karst. seedlings. *For. Ecol. Manage.* 180(1-3): 571-582.
- Örlander, G., P. Gemmel et J. Hunt. 1990. Site preparation : a Swedish overview. British Columbia Ministry of Forests, FRDA Report 105, 61 p.
- 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. *Scand. J. For. Res.* 13(2): 160-168.
- Perron, M. 2003. L'amélioration génétique du mélèze hybride au Québec (dépliant). Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec.
- 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 recherches au Québec. *Ann. Sci. For.* 49: 277-296.
- 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. *Can. J. For. Res.* 33(11): 2097-2107.
- Ryans, M. 1983. Évaluation du scarificateur à disques motorisés Donaren 180D. Feric, rapport technique no RT-54, 38 p.
- Stipanovic, A. 1999. Les programmes d'amélioration génétique : bilan des réalisations ; les mélèzes laricin et hybrides. *Dans L'amélioration génétique en foresterie : où en sommes-nous ? Actes du colloque tenu à Rivière-du-Loup les 28, 29 et 30 septembre 1999*, pp. 77-85.
- Sutherland, B. et F.F. Foreman. 1995. Guide to the use of mechanical site preparation equipment in northwestern Ontario. Canadian Forest Service NWST Tech. Rep. TR-87, 186 p.
- Sutherland, B. et F.F. Foreman. 2000. Black spruce and vegetation response to chemical and mechanical site preparation on a boreal mixedwood site. *Can. J. For. Res.* 30: 1561-1570.
- Sutton, R.F. 1993. Mounding site preparation : a review of European and North American experience. *New Forests* 7(2): 151-192.
- Sutton, R.F. et T.P. Weldon. 1993. Jack pine establishment in Ontario : 5-year comparison of stock types, bracke scarification, mounding, and chemical site preparation. *For. Chron.* 69 (5): 545-553.
- Sutton, R.F. et T.P. Weldon. 1995. White spruce establishment in boreal Ontario mixedwood : 5 year results. *For. Chron.* 71 (5): 633-638.
- Sutton, R.F. et T.P. Weldon. 2003. White spruce establishment in two boreal Ontario mixedwoods : 13-year results. *For. Chron.* 79(1): 127-131.
- Sutton, R.F., L. Bedford, L. Strodeur et M. Grismer. 2001. Site preparation for establishing interior spruce in British Columbia: trials at Upper Coalmine and Mackenzie. *West. J. Appl. For.* 16(1): 9-17.
- Tellier, R., L.C. Duchesne, J.C. Ruel et R.S. McAlpine. 1995. Effets du brûlage dirigé et du scarifiage sur l'établissement des semis et sur leur interaction avec la végétation concurrente. *For. Chron.* 71 (5): 621-626.
- Thiffault, N. 2005. Choix du microsite sur sol scarifié en forêt boréale – quelques remarques. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, Direction de la recherche forestière, Québec, 6 p.
- 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. *For. Chron.* 80(1): 141-149.
- Thiffault, N., V. Roy, G. Prigent, G. Cyr, R. Jobidon et J. Ménétrier. 2003. La sylviculture des plantations résineuses au Québec. *Le naturaliste canadien* 127(1): 63-80.
- Velbel, M.A. 1985. Geochemical mass balances and weathering rates in forested watersheds of the southern Blue Ridge. *American Journal of Science* 285: 904-930.
- Vitousek, P.M. et P.A. Matson. 1985. Disturbance, nitrogen availability and nitrogen losses in an intensively managed loblolly pine plantation. *Ecology* 66: 1360-1376.
- von der Gönna, M.A. 1992. Fundamentals of mechanical site preparation. British Columbia Ministry of Forests, FRDA Report 178, 29 p.
-



Réseau Ligniculture Québec

Pavillon C.-E.-Marchand
1030, avenue de la Médecine

Université Laval
Québec (Québec) G1V 0A6

Tél.: (418) 656-3132

Télec.: (418) 656-7493

Partenaire financier :

Québec 

• Fonds de recherche sur la nature et les technologies
• Ministère des Ressources naturelles et de la Faune