

# **Université du Québec à Chicoutimi**

Mémoire présenté à  
l'Université du Québec à Chicoutimi  
Comme exigence  
de la maîtrise en ressources renouvelables

Par

**François Girard**

Remise en production des pessières à lichens de la forêt boréale  
commerciale : nutrition et croissance de plants d'épinette noire trois  
ans après traitements de préparation de terrain

**Mai 2004**



### Mise en garde/Advice

Afin de rendre accessible au plus grand nombre le résultat des travaux de recherche menés par ses étudiants gradués et dans l'esprit des règles qui régissent le dépôt et la diffusion des mémoires et thèses produits dans cette Institution, **l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** est fière de rendre accessible une version complète et gratuite de cette œuvre.

Motivated by a desire to make the results of its graduate students' research accessible to all, and in accordance with the rules governing the acceptance and diffusion of dissertations and theses in this Institution, the **Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** is proud to make a complete version of this work available at no cost to the reader.

L'auteur conserve néanmoins la propriété du droit d'auteur qui protège ce mémoire ou cette thèse. Ni le mémoire ou la thèse ni des extraits substantiels de ceux-ci ne peuvent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

The author retains ownership of the copyright of this dissertation or thesis. Neither the dissertation or thesis, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

## RÉSUMÉ

Certaines pessières à lichens de la forêt boréale commerciale ont déjà supporté des peuplements denses d'épinettes noires avant que des accidents de régénération n'en causent l'ouverture du couvert arborescent. La présente étude s'inscrit dans un vaste programme de recherche portant sur la remise en production des dénudés secs, dont les pessières à lichens. Cette étude a pour but de comparer des pessières à mousses et à lichens aménagées quant à leur solution de sol et de plants d'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.). Quatre traitements de préparation de terrain effectués dans des plantations d'épinettes noires de trois ans à 200 km au nord du Lac St-Jean, Québec, Canada ont été étudiés, soit 1) Scarifiage dans une pessière noire à mousses récemment récoltée, 2) Scarifiage dans une pessière à lichens, 3) Taupe dans une pessière à lichens, 4) pessière à lichens sans préparation de terrain. À la lumière des résultats obtenus, il s'est avéré que trois ans après plantation, les plants ont présenté des croissances en hauteur et en diamètre similaires dans les pessières à mousses et à lichens scarifiées. Toutefois, les plants d'épinette noire des traitements Taupe et sans traitement présentaient des réductions de croissance considérables. Leur feuillage présentait de très faibles concentrations en azote et en calcium. Néanmoins, la solution de sol des pessières à lichens aménagées et celle des pessières à mousses scarifiées présente une teneur similaire en nutriments. La végétation influence faiblement la teneur en nutriments dans la solution de sol, soit entre 20 et 30 %. Les mêmes espèces végétales influencent la solution de sol et ce, d'une façon différente dans les pessières à lichens que dans les pessières à mousses. Les traitements de préparations de terrain diminuent la végétation compétitive sans toutefois supprimer son influence résiduelle sur la solution de sol.

## **REMERCIEMENTS**

Tout d'abord, je tiens à remercier spécialement mes superviseurs D<sup>r</sup> Jean-François Boucher et D<sup>r</sup> Daniel Lord qui ont rendu ce projet possible. Des remerciements vont pour M. François Hébert, M. Dominic Dufour, Mme Sonia Simard, M. Sébastien Audet, M. Jacques Allaire et M. Denis Walsh pour le soutien terrain. J'aimerais enfin remercier le Consortium de recherche sur la forêt boréale et le *Fond québécois de recherche sur la nature et les technologies (FQRNT)* qui ont financé ce projet.

## **TABLE DES MATIÈRES**

RÉSUMÉ.....	iii
REMERCIEMENTS.....	v
TABLE DES MATIÈRES .....	vii
LISTE DES TABLEAUX .....	ix
LISTE DES FIGURES.....	x
INTRODUCTION.....	1
MATÉRIEL ET MÉTHODES .....	11
Situation géographique et propriétés biophysiques des sites.....	12
Description du dispositif expérimental .....	14
Échantillonnage et mesures .....	15
Analyses statistiques et traitement des données.....	17
RÉSULTATS.....	20
Comparaison des pessières à lichens et à mousses aménagées .....	21
Solution de sol .....	21
Éclairage disponible.....	22
Variables morphologiques et nutritionnelles des plants d'épinette noire.....	23
Analyses multivariées sur les éléments échangeables du sol et du feuillage des plants.....	26
DISCUSSION.....	31
Pessières à mousses versus pessières à lichens.....	32
Considérations sylvicoles .....	39
CONCLUSION .....	42
RÉFÉRENCES.....	46
ANNEXE .....	55

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1: Sommaire de l'ANOVA sur les éléments échangeables contenus dans l'horizon minéral (B) du sol.....	22
Tableau 2: Sommaire de l'ANOVA sur l'éclairement disponible, l'atténuation de la lumière causée par la compétition et par les arbres pour des plants expérimentaux... ..	23
Tableau 3: Sommaire de l'ANOVA sur la croissance des plants d'épinette noire.	24
Tableau 4: Sommaire de l'ANOVA sur concentration foliaire en nutriments des plants d'épinette noire.....	25
Tableau 5 : Résultats des régressions multiples avec en variables dépendantes les données de croissance en masse sèche totale des plants et en indépendante les facteurs-descripteurs foliaire, , la compétition et chaque horizon du sol.	28
Tableau 6: Résultats des régressions multiples des Facteurs-descripteurs foliaires en variable dépendante versus les Facteurs-descripteurs du sol et de la compétition en indépendante. ....	29
Tableau 7: Résultats des régressions multiples avec comme variable dépendante les facteurs-descripteurs du sol et en indépendante la compétition.....	30
Tableau 8: Historique des sites .....	56

## **LISTE DES FIGURES**

Figure 1: Modèle conceptuel présentant les relations entre les différentes composantes de l'étude. ....	5
Figure 2 : Localisation du dispositif expérimental.....	13
Figure 3: Analyse en composantes principales sur les nutriments présents dans l'horizon du sol minéral (A) et du feuillage des plants (B). ....	27

## **INTRODUCTION**

Les pessières à lichens méridionales se retrouvent dispersés dans le vaste domaine de la pessière noire à mousses, lequel est caractérisé par une majorité de territoires forestiers densément peuplés d'épinettes noires. Ces îlots de forêt ouverte présentent un étage arborescent inférieur à 40% de recouvrement et un recouvrement supérieur à 40% des lichens *Cladina rangiferina* (L.) Nyl, *Cladina stellaris* (Opiz) Brodo ou *Cladina mitis* (Sandst.) Hustich (Anonyme 2002 et 2003). Il est également commun d'y rencontrer des plantes arbustives de la famille des éricacées, principalement le *Ledum groenlandicum* Retz. de même que le *Kalmia angustifolia* L. (Riverin et Gagnon, 1996; Simard et Payette, 2001). Les plus ouvertes des pessières à lichens – appelées « dénudés secs à cladonies (DS-C) » – sont considérées comme fragiles et improductives (Doucet et al., 1996; Anonyme, 2003). En vertu de la Loi, les travaux sylvicoles sont interdits au Québec dans toute pessière noire à lichens ou dénudé sec (Anonyme, 2003). Les pessières à lichens de la forêt boréale commerciale forment actuellement près d'un million d'hectares sur les dix millions de la forêt productive du nord du Saguenay-Lac-St-Jean (D. Côté, comm. pers. 2003).

Les pessières noires à lichens méridionales seraient en expansion constante (Payette et Delwaide, 2003). En effet, des résultats récents de recherche suggèrent que, à l'origine, les pessières à lichens étaient des pessières noires à mousses densément peuplées d'épinettes noires (Payette et al., 2000; Payette et Delwaide, 2003). Ce phénomène d'ouverture du couvert arborescent

s'apparente à celui ayant donné lieu à la grande pessière noire à lichens de la forêt ouverte au cours des quelques derniers millénaires (Payette et Gagnon 1985 ; Payette et al., 1989 ; Arseneault et Payette, 1992). Dans la forêt subarctique, le phénomène d'ouverture pourrait avoir été initié par l'action des feux et la rigueur du climat, surtout par la récurrence des gels tardifs et hâtifs durant la saison de croissance (Payette et Delwaide, 2003). Dans la forêt boréale commerciale, les perturbations en rafale comme une épidémie de tordeuses du bourgeon de l'épinette précédant un feu ou des feux trop rapprochés mèneraient à un recrutement déficitaire et, ainsi, à l'ouverture du couvert arborescent (Payette et al., 2000 ; Simard et Payette, 2001; Payette et Delwaide, 2003).

À court terme, aucune évidence ne permet de croire à une fermeture naturelle des pessières à lichens (Sirois et Payette, 1989; Payette 1992). Étant donné que ces peuplements ont déjà supporté des peuplements denses, tout au moins une partie d'entre eux, la solution envisageable pour redensifier ces territoires est le reboisement (Gagnon et al., 1999). Des augmentations de productivité forestière liées à la remise en production des pessières à lichens sont considérables et peuvent être chiffrés en quelques milliers d'emplois maintenus au Québec. Évidemment, la solution de remise en production de vastes portions de territoire ouvert dans le domaine de la pessière noire fermée doit faire l'objet d'études approfondies.

Certains auteurs proposent que les pessières à lichens sont des milieux pauvres et impropres au maintien d'une bonne productivité forestière (Bergeron, 1996; Anonyme, 2003). Les espèces arbustives présentes sur le terrain, le *Kalmia angustifolia* L. et le *Ledum groenlandicum* Retz, sont considérées comme espèces indicatrices d'un sol pauvre et même toxique, bien qu'elles se retrouvent également dans les pessières noires à mousses (Mallik et Zhu, 1994; Bergeron, 1996). En fait, les éricacées et les lichens présents dans les pessières à lichens sont des espèces qui peuvent être qualifiées de compétitives par rapport à l'épinette noire. Il y a compétition entre deux espèces (exemple : épinette noire vs éricacées et/ou lichens) lorsqu'elles utilisent une même ressource (nutriments, éclaircissement, eau) présente en quantité limitée dans le milieu (Doucet et al., 1996) (Figure 1). Dépendamment du type de milieu (pessière à lichens ou à mousses), l'éclaircissement disponible, les nutriments de la solution de sol ainsi que les nutriments contenus dans le feuillage peuvent avoir un effet significatif sur la croissance de plants d'épinette noire (Grossnickle, 2000). En pessières à lichens, la combinaison de l'effet compétitif des composantes végétales et des caractéristiques édaphiques du milieu pourrait induire des réductions importantes de croissance sur les plants.

Dans les pessières à lichens, les interactions compétitives entre les différentes espèces constituent une source d'interrogations. Quel est l'effet réel et/ou potentiel de la végétation compétitive sur la croissance de l'épinette noire ?

Est-ce la végétation compétitive qui a un effet négatif sur la croissance, ou est-ce un facteur intrinsèque au milieu qui induit des limitations de croissance ? Si interaction compétitive il y a, comment remédier au problème de limitation de croissance (Figure 1) ? Avant d'avancer des pistes de réponse sur ces questions, il faut bien connaître l'écologie ainsi que les mécanismes d'action de la compétition face à l'épinette noire.

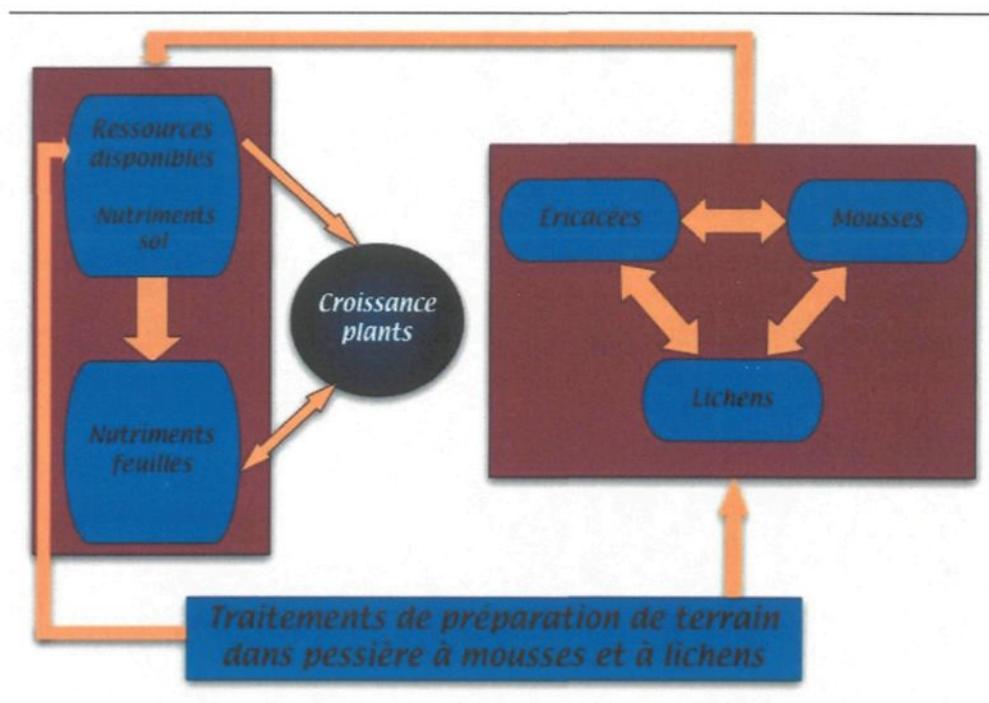


Figure 1: Modèle conceptuel présentant les principales relations entre les différentes composantes de l'étude

Les éricacées pourraient limiter la croissance (en hauteur et biomasse totale) de l'épinette noire (Yamasaki et al., 1998). Les limitations biotiques induites

par ces plantes seraient causées principalement par la compétition pour les nutriments dans le sol (Yamasaki et al., 1998). Le *Kalmia* affecte la disponibilité des nutriments dans le sol en réduisant la capacité du sol ou de l'humus à minéraliser les nutriments azotés ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) nécessaires à la croissance de l'arbre (Yamasaki et al., 1998). Ces espèces pionnières-opportunistes présentent une croissance aérienne rapide et ont besoin de nutriments rapidement et continuellement (Chapin, 1983). Étant donné le caractère expansif et agressif de leur système de rhizomes, il y aurait une grande part de l'azote disponible du sol qui serait utilisée par ces espèces pionnières (Grossnickle, 2000). L'épinette noire est une espèce présentant une capacité relativement lente à capter, accumuler et utiliser les nutriments en bas âge, ce qui fait de cette espèce un mauvais compétiteur face à d'autres espèces pionnières (Grossnickle, 2000).

Les éricacées sont les espèces idéales pour coloniser un milieu perturbé, puisqu'elles sont stimulées par le feu et l'ouverture du couvert (Mallik, 1991; Mallik, 1993; Yamasaki et al., 1998). Avant la (les) perturbation(s), les éricacées sont présentes sur le terrain mais les tiges aériennes sont peu abondantes. La majorité de la biomasse se retrouve dans les racines et les rhizomes. Il existe un immense réseau de racines et de rhizomes sous-terrain, prêts à envahir le milieu. Quand le terrain est perturbé, plusieurs tiges aériennes émergent des rhizomes et la majorité de la biomasse devient alors des tiges aériennes (Mallik, 1991; Mallik, 1993).

Selon certains auteurs, les feuilles de *Kalmia* auraient également un effet défavorable sur la croissance de plants d'épinette noire par la libération de composés toxiques (Mallik et Zhu 1994; Yamasaki et al. 1998; Inderjit et Mallik 1999). En effet, l'eau contenue dans les feuilles de *Kalmia* contiendrait des substances allélopathiques (composés poly-phénoliques) qui limiteraient le développement du système racinaire (Mallik et Zhu, 1994). Quand la feuille tombe au sol l'eau sort de la feuille et la substance allélopathique entre en solution dans l'humus (Mallik, 1993). Le système racinaire des plants serait limité dans l'extension et la pénétration de ses racines. Exposées à de fortes densités de *Kalmia*, les racines d'épinettes forment un nombre réduit de radicelles et de poils absorbants (Mallik 1991; Mallik et Zhu, 1994). De plus, les plants présentant un problème au niveau du système racinaire auraient un développement réduit en hauteur (Mallik 1991). Il y aurait également une réduction de la hauteur sur les plants possédant un système racinaire normal mais exposé à de fortes densités de *Kalmia* (Mallik et Zhu, 1994 ; Yamasaki et al., 1998).

Alors que plusieurs études ont porté sur l'influence du *Kalmia* sur l'épinette noire en terme nutritionnel et allélopathique seulement un petit groupe de chercheurs se sont intéressés à l'autre espèce éricacée qui domine les pessières à lichens: le Lédon du Groenland. Ces auteurs suggèrent que le Lédon du Groenland peut avoir un effet similaire au *Kalmia* (Inderjit et Mallik 1996; Inderjit et Mallik, 1997), c'est-à-dire une utilisation massive de l'azote disponible induisant

une limitation de croissance de l'épinette noire ainsi que la libération de composés phénoliques pouvant interférer avec la croissance de plants d'épinette noire (Inderjit et Mallik 1996; Inderjit et Mallik, 1997; Yamasaki et al., 1998).

Certains auteurs suggèrent que les lichens terricoles, espèces également envahissantes suite à l'ouverture du milieu, influenceraient la croissance de certains conifères soit par la libération de composés phénoliques, la compétition pour les nutriments ou par des limitations physiques (Kershaw et Rouse, 1971; Kuuluvainen et al., 1993). Compte tenu de leur albédo élevé, les lichens contribueraient à maintenir des conditions de sol frais et humide (Kershaw et Rouse, 1971). Ces conditions édaphiques défavorables se répercuteraient ainsi la croissance des autres plantes (Kershaw et Rouse, 1971; Grossnickle, 2000). Les sols sous d'épaisses couches de lichens peuvent conserver une humidité supérieure à des sols sans lichens, l'évaporation de l'eau dans la couche de lichens durant les jours chauds de l'été n'étant que partielle (Kershaw et Rouse, 1971). Le nombre de degrés-jours nécessaires pour débiter la saison de croissance serait aussi atteint plus tard dans la saison. Pendant la saison de croissance, la température du sol est un facteur pouvant également limiter la croissance ainsi que la physiologie des jeunes conifères (Kaspar et Bland, 1992; Boucher et al., 2001).

La plupart des études en viennent à la même conclusion : retirer complètement la végétation compétitive peut augmenter la minéralisation et la croissance de plants conifériens (Inderjit et Mallik, 1997; Inderjit et Mallik, 1999). Les traitements mécaniques de préparations de terrain qui mélangent les horizons organiques et minéraux du sol peuvent également augmenter la minéralisation dans le sol (Örlander et al., 1990). Plus le traitement est agressif, plus la minéralisation est augmentée, et ce, jusqu'à un certain point (Örlander et al., 1990; Ballard, 2000). Certaines études ont démontré qu'un traitement mécanique agressif qui enlève totalement la végétation compétitive et altère la couche organique peut affecter la teneur en nutriments du site à long terme (Grossnickle, 2000; Setälä et al., 2000). Le scarifiage peut accélérer la minéralisation à court terme, mais diminue, ou peut même épuiser les réserves d'azotes contenue dans le sol à plus long terme (Grossnickle, 2000; Setälä et al., 2000). Les espèces ayant des besoins en nutriments moins élevés que des espèces agressives et envahissantes (comme les éricacées) peuvent alors tirer parti de ce genre de préparation de terrain (Mallik, 1991; Grossnickle, 2000).

L'étude de l'écologie, de la structure démographique, de la dynamique de régénération et des interactions compétitives de ces écosystèmes est cruciale afin d'envisager une éventuelle remise en production des pessières noires à lichens méridionales. Peu d'études se sont attardés à savoir si ces écosystèmes pourraient supporter à nouveau un peuplement dense d'épinettes noires (Riverin et

Gagnon, 1996; Payette et al., 2000). La compréhension de ces territoires ainsi que la comparaison avec des milieux normalement productifs est nécessaire pour documenter la remise en production des pessières à lichens. Cette étude a pour but de comparer les pessières à mousses et les pessières à lichens aménagées quant à la nutrition et la croissance de plants d'épinette noire. L'hypothèse principale est que les pessières à mousses et à lichens sont identiques quant à la teneur des éléments nutritifs dans la solution de sol, à la croissance des plants d'épinette noire ainsi qu'à l'influence de la compétition sur la solution de sol et les plants d'épinette noire.

## **MATÉRIEL ET MÉTHODES**

### ***Localisation et caractéristiques biophysiques des sites***

Les deux sites à l'étude font partie du domaine de la pessière noire à mousses de la forêt boréale commerciale québécoise (Bergeron, 1996). Ils sont situés à 200 km au nord du Lac-St-Jean, Québec, Canada. Le premier site est situé en bordure de la rivière Mistassibi (50° 08' 24" N, 71° 58' 12" W) et le deuxième, en bordure du Lac Péribonka (50° 11' 60" N, 71° 12' 00" W) (Figure 2). Durant les cinq dernières années (1998-2002), la température moyenne annuelle a été de 1,1°C (température moyenne maximale : 6,6°C, minimale : -4,4°C) et les sites expérimentaux ont reçu en moyenne plus de 500 mm de pluie ainsi que 3,50 m de neige (Environnement Canada, 2003). Les 20 placettes échantillons sélectionnées pour cette étude présentent un drainage mésique (2 ou 3). Les sites présentent un dépôt de surface majoritairement de type till glaciaire indifférencié et le sol minéral de l'ensemble du dispositif expérimental est de type podzolique (voir Tableau 8 en annexe). Les sites sélectionnés présentent un humus de type mor, constitué en majorité de mousses et/ou de sphaigne et/ou de lichens semi-décomposés.



Figure 2 : Localisation du dispositif expérimental

Les sites étudiés ont d'abord été déterminés en fonction du recouvrement végétal présent : recouvrement arborescent inférieur à 40% (classe de densité D) et présence de lichens à plus de 40% (Anonyme 2003). Les sites ont été choisis de façon à trouver des pessières à lichens adjacentes à des pessières à mousses (densité A, B ou C) récemment récoltées. En plus de l'épinette noire en étage arborescent, les sites présentaient principalement un ensemble d'espèces végétales composé des lichens *Cladina rangiferina* (L.) Nyl, *Cladina stellaris* (Opiz) Brodo ou *Cladina mitis* (Sandst.) Hustich, des mousses *Pleurozium schreberi* (BSG.) Mitt., *Hicolium splendens* (Hedw.) BSG., ou *Ptilium crista-casterentris* (Hedw.) De Not., ainsi que des arbustes de la famille des éricacées,

principalement du *Ledum groenlandicum* Retz., du *Kalmia angustifolia* L. et du *Vaccinium angustifolium* Ait.

Les sites ont été reboisés en épinette noire (*Picea mariana* Mill. B.S.P.) produits en récipient # 67-50 (67 cavités de 50cm<sup>3</sup> par récipient) à l'automne 1999 (Provenance : Epn-N1-12B-C23-26-96). Les dimensions initiales des plants étaient de 2,2 mm au diamètre et 168 mm en hauteur. Les plants ont été reboisés à deux mètres d'intervalles selon la méthode conventionnelle (Anonyme, 2003).

#### ***Description du dispositif expérimental***

Trois des cinq blocs complets requis par le plan d'échantillonnage ont été établis en bordure de la rivière Mistassibi (Nord du Lac St-Jean, Québec, Canada); les deux autres à l'Est du lac Péribonka (Québec, Canada). Chaque bloc comprend quatre traitements de préparation de terrain dont trois traitements dans des pessières à lichens, soit Scarifiage (PL), Taupe et Sans préparation de terrain, et un traitement (Scarifiage) a été fait dans des pessières noires à mousses (PM) normalement productives, ayant été récoltées de 1 à 5 ans avant la plantation selon le bloc. Ce traitement peut être considéré comme une référence puisqu'il est pratiqué partout en forêt boréale commerciale. Il s'agit donc d'un dispositif en blocs complets contenant un total de 20 parcelles expérimentales. Le scarifiage a été effectué en 1998 ou 1999, selon le bloc, à l'aide d'un scarificateur TTS hydraulique (voir tableau 8 en annexe). Le TTS hydraulique correspond à deux

disques rotatifs mécanisés installés à 45° derrière le tracteur. Les disques retournent la matière organique pour créer des sillons séparés de 2 mètres avec microsites de plantation à tous les 2 mètres. La taupe a été effectuée à l'aide d'une débroussailleuse mécanisée modifiée pour creuser un trou d'environ 15 centimètres de rayon dans l'humus pour en exposer le sol minéral (voir tableau 8 en annexe).

### ***Échantillonnage et mesures***

Une évaluation préliminaire de la végétation compétitive a été réalisée sur une banque de 100 plants d'épinette noire par traitements de préparation de terrain répartis également dans les cinq blocs. Un cercle ayant un rayon de 35 cm (0,4 m<sup>2</sup>) a été tracé autour de chaque plant expérimental pour délimiter la placette échantillon. La taille de la placette échantillon a été déterminée par des travaux préliminaires qui visaient à trouver le cercle minimal d'influence compétitive autour des plants d'épinette noire (résultats non présentés). Le nombre de tiges aériennes d'éricacées a été dénombré afin de constituer la banque (adapté de Morris et MacDonald, 1991). Cette banque a été séparée pour chaque traitement en trois classes égales soit 1) végétation peu abondante (1 à 5 tiges d'éricacées) 2) végétation moyennement abondante (5 à 15 tiges d'éricacées) et 3) végétation très abondante (16 tiges et plus). Dans chacune des trois classes, qui comprenaient 30 à 35 plants d'épinette noire chacune, 15 plants ont été tirés aléatoirement pour établir le dispositif expérimental. Cet échantillonnage dirigé a

permis d'obtenir la même gamme de variabilité de végétation compétitive dans chaque traitement à l'essai. Il y avait donc 45 plants expérimentaux répartis également par traitement et un total de 180 pour l'étude, ce qui donnait 36 plants par bloc et 9 plants par traitement dans chaque bloc. Suite à l'échantillonnage, plusieurs plants sélectionnés n'ont pu être retenus, ce qui explique la différence entre les degrés de liberté théoriques et pratiques.

Pour chaque plant, la compétition, la solution de sol, la croissance et le statut nutritif foliaire font l'objet d'une caractérisation. La compétition a été évaluée de façon directe et indirecte dans chaque cercle d'échantillonnage autour des plants sélectionnés. À la fin août 2002, l'évaluation directe a été effectuée par la détermination de la masse sèche (80 degrés Celsius pendant 48 heures) des lichens, des mousses et des éricacées (adapté de Morris et MacDonald, 1991). Le pourcentage d'atténuation de la lumière ainsi que le contenu en nutriments présents dans le sol. Le pourcentage de pleine lumière disponible (% DFPP) a été déterminé suivant la méthode de mesure sous couvert nuageux de Messier et Puttonen (1995). L'atténuation de la lumière a été obtenue en soustrayant l'éclairement disponible de l'éclairement au niveau du bourgeon apical du plant d'épinette noire.

Le niveau de compétition a été estimé également par la concentration en nutriments présents dans la solution de sol. Dans l'environnement racinaire de

chaque plant expérimental, soit environ 10 cm de profondeur, l'horizon minéral (B) du sol a été échantillonnée. Les nutriments solubles dans les différents échantillons de sol ont été extraits par la méthode de saturation à l'eau déionisée (Marquis et al., 1999). Les éléments P, K, Ca et Mg ont été dosés à l'ICP tandis que les mesures sur le NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et le NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ont été réalisées par chromatographie dans le laboratoire du MRNFP (Québec, Canada) (Dreyer et al., 1994).

La concentration en nutriments dans les feuilles de l'année a été mesurée en utilisant des feuilles séchées. L'azote total a été mesuré suivant la méthode Kjeldahl et les autres éléments (K, Ca, Mg et P) en utilisant un ICP dans le laboratoire du CRBF (Québec, Canada) (Dreyer et al., 1994). Finalement, des mesures morphologiques ont été réalisées sur les plants expérimentaux récoltés à la fin août 2002 : hauteur totale, diamètre à l'interface air-sol, masse sèche racinaire et totale (65°C pendant 48 h).

### ***Analyses statistiques et traitement des données***

Une analyse de variance (ANOVA) en bloc complets a été réalisée sur toutes les variables mesurées en utilisant la procédure GLM dans SuperAnova (Abacus concepts Inc. Berkeley, CA. USA). L'homogénéité de la variance de toutes les données a été vérifiée par évaluation visuelle des graphiques des résidus (Devore et Peck, 1994). Des comparaisons entre les traitements ont été réalisées à l'aide d'un test de Fisher LSD protégé (Steel et Torrie, 1980).

Des analyses en composantes principales (ACP) ont été réalisées sur les variables de nutrition du sol et du feuillage à l'aide du logiciel Statistica (Statsoft systems, Version 5.1. Tulsa, OK. USA). Les ACP ont servi à grouper les données de nutrition pour analyser la structure du réservoir de nutriments disponibles. Les données de nutrition ont été préalablement transformées selon la méthode décrite par Aitchison (1983). Les positions sur les facteurs (« Factors Scores ») ont été ensuite traitées en régression multiple avec les données de croissance et de compétition selon la méthode pas-à-pas (« Foward stepwise »). Les variables de croissance ont été transformées en logarithme naturel (ln) dans le but de linéariser les régressions. En premier lieu, afin d'expliquer la variation de la croissance de l'épinette noire et sa teneur en nutriment foliaire, les variables de croissance ont été placées en variable dépendante et les positions sur les facteurs foliaires et du sol (résultats des ACP en deux dimensions sur les nutriments foliaires et du sol minéral) en indépendante. Deuxièmement, afin d'expliquer la variation des nutriments contenus dans les feuilles, les positions sur les facteurs foliaires (résultats des ACP en deux dimensions sur les nutriments foliaires) ont été placées en variable dépendante et les positions sur les facteurs de sol (résultats des ACP en deux dimensions sur les nutriments du sol minéral) ainsi que la compétition (masse sèche lichens, mousses et éricacées) en indépendante. Finalement, afin d'expliquer la variation des nutriments disponibles dans le sol, les positions sur les facteurs du sol (résultats des ACP en deux dimensions sur les nutriments du sol

minéral) ont été placées en variable dépendante et les variables de compétition (masse sèche lichens, mousses et éricacées) en indépendante.

## **RÉSULTATS**

### ***Comparaison des pessières à lichens et à mousses aménagées***

#### *Solution de sol*

Les concentrations en azote total, phosphore, potassium, calcium, magnésium et nitrates dans la solution de sol ne présentent pas de différence significative entre les deux types de milieux (Tableau 1). Peu importe le traitement et le type de pessière, les nutriments sont distribués uniformément suivant un faible écart-type. Seul le  $\text{NH}_4^+$  présente une différence faiblement significative entre les traitements. Les traitements Scarifié PM, Scarifié PL et sans traitement présentent une teneur en  $\text{NH}_4^+$  similaire. La concentration en ammonium dans les traitements Lichens est similaire, mais significativement différente de celle observée dans la pessière à mousse scarifiée.

**Tableau 1: Sommaire de l'ANOVA (Degrés de liberté, valeurs de p, moyenne du carré des écarts des termes d'erreurs et résultats de test de Fisher) sur les éléments échangeables contenus dans l'horizon minéral (B) du sol. \* Les lettres précédant la moyenne sont le résultat du test de Fisher LSD protégé. Lorsque l'ANOVA est non-significative les moyennes globales et l'écart-type sont présentés. Abréviations : PM : peissière à mousses, PL : peissière à lichens.**

Source de variation	dl	P (mg*g-1)	K (mg*g-1)	Ca (mg*g-1)	Mg (mg*g-1)	NH4+ (mg*g-1)	NO3- (mg*g-1)	N tot (mg*g-1)
Bloc (B)	4	0,0206	0,1971	0,0636	0,0239	0,0775	0,0001	0,0001
Traitement (T)	3	0,372	0,0661	0,1567	0,1009	0,0424	0,1727	0,1707
<i>Fisher LSD protégé (p&lt;0.05)</i>								
Scarifiage PM						(b) 0.17		
Scarifiage PL		0,16	0,61	0,94	0,3	(ab) 0.12	2,44	2,58
Taupe PL		± 0.01	± 0.04	± 0.08	± 0.02	(a) 0.11	± 0.26	± 0.26
Sans PL						(ab) 0.14		
Erreur expérimentale	12	0,017	0,766	2,94	0,26	0,0104	6,48	6,79
Erreur d'échantillonnage	150	0,0122	0,139	0,663	0,0389	0,007	7,103	7,244

### *Éclairement disponible*

Dans les sites à l'étude, la quantité d'éclairement disponible au niveau du bourgeon apical des plants (DFPPpl) est significativement différente entre les traitements. L'éclairement disponible dans les traitements Scarifiés est semblable mais différent des traitements Taupe et Sans traitement. La moyenne des traitements Taupe et Sans traitement est 11% plus basse que celle des Scarifiés. Malgré une différence d'éclairement au bourgeon apical, il n'y a aucune différence dans l'atténuation de la lumière causée par la compétition ou par les arbres matures environnants (Tableau 2), indiquant que l'atténuation de l'éclairement

disponible pour les plants d'épinette noire est le résultat de l'effet combiné des compétiteurs et des arbres.

**Tableau 2: Sommaire de l'ANOVA (Degrés de liberté, valeurs de p, moyenne du carré des écarts des termes d'erreurs et résultats de test de Fisher) sur l'éclairement disponible, l'atténuation de la lumière causée par la compétition et par les arbres pour des plants expérimentaux. Abréviations : DFPPpl : densité de flux de photons photosynthétiques au niveau du bourgeon apical, Atten. Comp : atténuation d'éclairement causée par la compétition, Atten. Arbre : atténuation d'éclairement causée par les arbres \* Notes : voir tableau 1.**

Source de variation	dl	DFPPpl (%)	Atten, Comp (%)	Atten, Arbre (%)
Bloc (B)	2	0,6265	0,561	0,7738
Traitement (T)	3	0,0383	0,1526	0,1314
<i>Fisher LSD protégé (p&lt;0,05)</i>				
Scarifié PM		(b) 88,44		
Scarifié PL		(b) 87,00	10,27	7,6
Taupe PL		(a) 78,28	± 0,59	± 0,55
Sans PL		(a) 77,84		
Erreur expérimentale	6	160,411	100,72	85,41
Erreur d'échantillonnage	107	60,435	31,21	22,754

#### *Variables morphologiques et nutritionnelles des plants d'épinette noire*

Parmi toutes les variables morphologiques mesurées sur les plants, sauf pour ce qui est de la masse sèche racinaire, la croissance a été influencée significativement par les traitements de préparation de terrain (Tableau 3). Les plants des traitements Taupe et Sans présentent un diamètre 43% et une hauteur 63% inférieurs à ceux dans les parcelles Scarifiées. Cependant, les plants situés

dans les pessières à lichens (Scarifié PL, Taupe et Sans) présentent une masse sèche totale similaire mais inférieure de 34% à ceux dans les pessières à mousses scarifiées. Malgré des différences significatives chez les autres variables de croissance, la masse sèche racinaire est la même dans tous les traitements.

**Tableau 3: Sommaire de l'ANOVA (Degrés de liberté, valeurs de p et moyenne du carré des écarts des termes d'erreurs et résultats de test de Fisher) sur la croissance des plants d'épinette noire. Abréviations et Notes: Voir tableau 1.**

Source de variation	dl	Diamètre tige (mm)	Hauteur tige (mm)	Masse sèche totale (g)	Masse Sèche racinaire (g)
Bloc (B)	4	0,3641	0,3796	0,3078	0,2871
Traitement (T)	3	0,0011	0,001	0,0209	0,0679
<i>Fisher LSD protégé (<math>p &lt; 0,05</math>)</i>					
Scarifiage PM		(b) 5,56	(b) 411,89	(b) 12,99	
Scarifiage PL		(b) 4,59	(b) 343,26	(ab) 8,59	1,18
Taupe PL		(a) 2,90	(a) 243,50	(a) 2,43	± 0,09
Sans PL		(a) 2,92	(a) 231,38	(a) 2,28	
Erreur Expérimentale	12	6,91	27469	440,77	10,397
Erreur d'échantillonnage	154	0,918	4008	25,922	0,663

Les résultats de contenu foliaire en nutriments montrent que tous les nutriments, sauf le potassium, sont significativement différents entre les traitements de préparation de terrain (Tableau 4). Dans le feuillage des plants, de très grandes différences de concentration en azote ont été observées. Les plants expérimentaux échantillonnés dans les traitements Taupe et Sans traitement sont similaires, mais 66 % inférieurs au traitement Scarifié PM. Entre les deux milieux scarifiés, il s'est avéré que la concentration en azote foliaire des plants dans les

peSSIères à lichens est 18 % plus faible que ceux des traitements scarifiés dans la peSSIère à mousses. Pour le phosphore, la concentration foliaire des plants dans les traitements Scarifiés est semblable, mais présente une concentration 25% plus élevée que les traitements Taupe et Sans. Le calcium foliaire des traitements Scarifiés est 50% plus élevé que dans les traitements Taupe et Sans. Comme pour le phosphore, les traitements Scarifiés sont semblables entre eux, mais différents des deux autres. Le potassium ne présente pas de différence significative dans les différents traitements de préparation de terrain.

**Tableau 4: Sommaire de l'ANOVA (Degrés de liberté, valeurs de p et moyenne du carré des écarts des termes d'erreurs et résultats de test de Fisher) sur la concentration foliaire en nutriments des plants d'épinette noire. Abréviations et Notes : voir tableau 1**

Source de variation	dl	N (mg*g <sup>-1</sup> )	P (mg*g <sup>-1</sup> )	K (mg*g <sup>-1</sup> )	Ca (mg*g <sup>-1</sup> )	Mg (mg*g <sup>-1</sup> )
Bloc (B)	4	0,7166	0,7915	0,6082	0,5543	0,5207
Traitement (T)	3	0,0001	0,0314	0,4469	0,0001	0,0003
<i>Fisher LSD protégé (p&lt;0,05)</i>						
Scarifiage PM		(c) 13,28	(b) 1,86		(b) 3,28	(b) 1,14
Scarifiage PL		(b) 10,97	(b) 1,77	7,18	(b) 3,36	(b) 1,23
Taupe PL		(a) 4,79	(a) 1,48	± 0,14	(a) 1,70	(a) 0,73
Sans PL		(a) 4,19	(a) 1,47		(a) 1,60	(a) 0,85
Erreur expérimentale	12	10,22	0,3	8,22	1,28	0,14
Erreur d'échantillonnage	150	3,548	0,0851	2,301	1,262	0,0643

***Analyses multivariées sur les éléments échangeables du sol et du feuillage des plants***

La distribution des éléments minéraux échangeables dans le réservoir de la solution de sol peut être expliquée par deux regroupements significatifs. Le facteur 1 (F1B) explique 64% de la variance totale et regroupe les éléments N et H<sup>+</sup> du sol et les oppose aux autres cations (Ca, Mg, K, P) (Figure 3A). Le facteur 1 est ainsi défini comme étant le facteur « Acidité versus Cations ». Le facteur 2 (F2B) explique 24% de la variance totale et regroupe le Magnésium, le Calcium et l'Azote et les oppose au Phosphore, au Potassium et aux Protons. Sur l'axe 2, les éléments ayant les positions les plus élevées sont respectivement le Magnésium (0,72), le Calcium (0,63) et, à l'opposé, le Phosphore (-0,59). Le facteur 2 sera défini comme le facteur Magnésium/Calcium vs Phosphore (« MgCa vs P »).

Les nutriments dans le feuillage se distribuent différemment de ceux dans la solution de sol (Figure 3B). Le facteur 1 (F1Fol) explique 51% de la variance totale et regroupe le Calcium et l'oppose fortement au Phosphore et au Potassium. Sur l'axe 1, les éléments ayant les positions les plus élevées sont respectivement le Phosphore (-0,88), le Potassium (-0,86), à l'opposé, le Calcium (0,85). Le facteur 1 sera défini en tant que facteur Phosphore-Potassium vs Calcium (« PK vs Ca »). Le facteur 2 (F2Fol) explique 24% de la variance totale et regroupe le Magnésium en l'opposant fortement à l'Azote foliaire. Sur l'axe 2, les éléments ayant les positions les plus élevées sont respectivement l'Azote (-0,56) et, à l'opposé, le

Magnésium (0,85). Le facteur 2 sera défini en tant que facteur Magnésium versus Azote (« Mg vs N »).

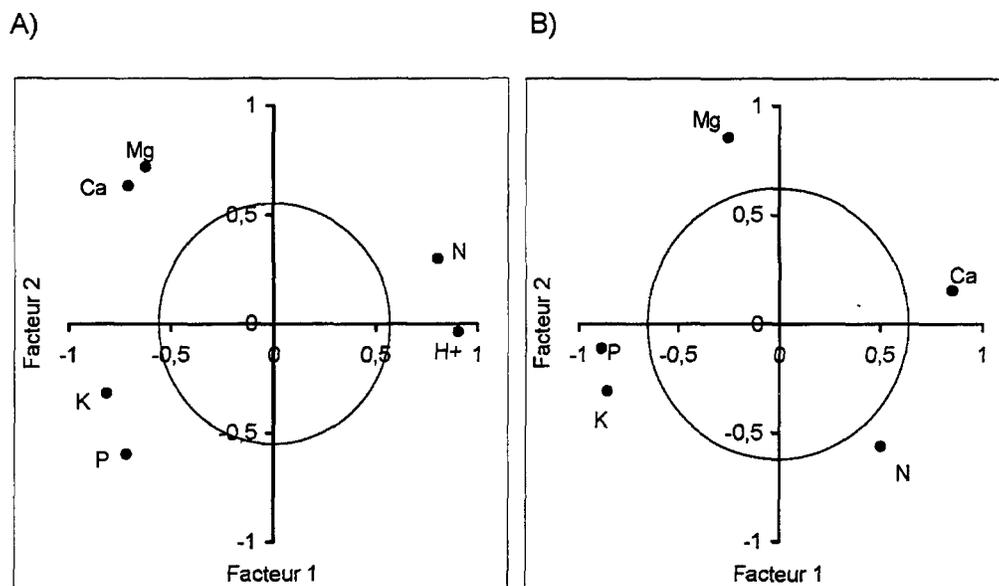


Figure 3: Analyse en composantes principales sur les nutriments échangeables dans l'horizon du sol minéral (A) et du feuillage des plants (B). Le cercle de contribution équilibrée des descripteurs détermine si les vecteurs sont significatifs (A:  $R=0,57$ , B:  $R=0,63$ )

Dans le traitement Scarifié PM, la compétition, les nutriments de la solution de sol et ceux du feuillage n'ont aucune influence significative sur la croissance en masse sèche totale des plants (Tableau 5). Par contre, la masse sèche totale est influencée par le contenu foliaire en nutriments (« Ca vs PK ») dans les traitements Scarifié PL et sans. Plus la masse sèche totale du plant augmente, plus le rapport Ca vs PK est augmenté.

Tableau 5 : Résultats des régressions multiples avec en variables dépendantes les données de croissance en masse sèche totale des plants et en indépendante les facteurs-descripteurs foliaire, la compétition et chaque horizon du sol. \* Valeurs de P et R2 sont fournies pour les relations significatives seulement. Les données de croissance ont été transformées en LN. Abréviations : N.S.= non-significatif ( $p>0,05$ ), PM: peissière à mousses, PL: peissières à lichens, MS : Masse sèche.

	Indépendante	Scarifié PM	Scarifié PL	Taupe PL	Sans PL
Variable dépendante MS totale (g)	Compétition	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
	Facteurs sol	N.S.	+Acidité vs cations P=0,006 R2=0,18	N.S.	N.S.
	Facteurs foliaires	N.S.	+Ca vs PK P=0,02 R2=0,12	N.S.	+Ca vs PK P=0,05 R2=0,1

Les facteurs-descripteurs du sol minéral (« Acidité vs cations ») expliquent significativement la concentration foliaire (« Ca vs PK ») des plants des traitements Scarifiés PM et ne l'expliquent pas significativement pour les autres traitements (Tableau 6). La compétition des lichens et des éricacées explique le rapport Ca vs PK dans le feuillage tandis que les mousses interviennent dans le rapport Mg vs N dans le feuillage. Dans les traitements à lichens, un seul facteur explique la concentration foliaire soit les lichens dans le scarifiage.

Tableau 6: Résultats des régressions multiples des Facteurs-descripteurs foliaires en variable dépendante versus les Facteurs-descripteurs du sol et de la compétition en indépendante. Abréviations : N.S.= non-significatif ( $p < 0,05$ ), PM: peissière à mousses, PL: peissières à lichens, F1: Facteur 1, F2: Facteur 2 \*Notes : voir Tableau 5.

		Indépendante	Scarifié PM	Scarifié PL	Taupe PL	Sans PL
Variable dépendante	F1Foliaire	Compétition	+ Lichens +Éricacées P=0,05 R2=0,13	N.S.	N.S.	N.S.
		Facteurs sol	+ Acidité sol +CaMg Vs P P=0,004 R2=0,26	N.S.	N.S.	N.S.
F2Foliaire	Compétition		+ Mousses P=0,05 R2=0,09	+ Lichens P=0,04 R2=0,11	N.S.	N.S.
	Facteurs sol		N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

Dans tous les traitements de préparation de terrain dans les peissières à lichens, les rapports « CaMg vs P » et « Acidité sol » peuvent être expliqués par une diminution de la masse sèche d'éricacées et des mousses, ce qui montre l'influence de la compétition sur l'équilibre des nutriments de la solution de sol (Tableau 7). L'influence diminue avec l'agressivité du traitement. Dans les peissières à mousses scarifiées, les rapports « CaMg vs P » et « Acidité sol » augmentent lorsqu'il y a augmentation la masse sèche d'éricacées des éricacées et les mousses.

**Tableau 7: Résultats des régressions multiples avec comme variable dépendante les facteurs-descripteurs du sol et en indépendante la compétition. Abréviations : PM: peissière à mousses, PL: peissières à lichens, F1: facteur 1, F2: Facteur 2 \*Notes : voir Tableau 5.**

		Indépendante	Scarifié PM	Scarifié PL	Taupe PL	Sans PL
Variable dépendante	F1Sol minéral	Compétition	+Éricacées	-Mousses	+Lichens	-Éricacées
			+Lichens	-Éricacées	-Éricacées	+Lichens
			P=0,01	P=0,02	P=0,0009	P=0,005
			R2=0,20	R2=0,19	R2=0,31	R2=0,28
	F2Sol minéral	Compétition	+Mousses	+Éricacées	-Lichens	-Éricacées
				-Mousses	-Mousses	-Mousses
			P=0,003	P=0,02	P=0,004	P=0,004
			R2=0,19	R2=0,18	R2=0,25	R2=0,28

## **DISCUSSION**

### ***Pessières à mousses versus pessières à lichens***

En foresterie québécoise, les pessières à lichens sont considérés comme des sites pauvres à faible potentiel de croissance (Bergeron 1996 ; Anonyme, 2002 et 2003). Les faibles densités et croissance en hauteur des arbres laissent supposer que ces territoires sont infertiles. Les résultats obtenus suggèrent que, d'abord, les pessières à lichens et à mousses sont similaires quant à la disponibilité des nutriments contenus dans leur solution de sol minéral, et ce, quel que soit le traitement de préparation de terrain. D'après les résultats obtenus, le scarifiage n'affecte pas la teneur en nutriments dans la solution de sol, sauf peut-être faiblement pour le  $\text{NH}_4^+$ . Selon Örlander et collaborateurs (1990), le scarifiage réchaufferait le sol suffisamment pour augmenter la minéralisation et, par le fait même, augmenter la quantité d'azote disponible ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ , Azote total) (Ballard, 2000). Cette hypothèse n'est pas vraiment soutenue par ce travail, puisque aucune différence en azote totale ou  $\text{NO}_3^-$ , qui sont les plus grandes sources d'azote disponible pour les plantes dans le sol, n'a été détectée entre les différents traitements de préparation de terrain dans les pessières à lichens. L'enlèvement partiel de la couche d'humus par le scarifiage a possiblement, du moins à court terme, atténué l'effet fertilisant potentiel du scarifiage (Munson et al. 1993). La quantité d'azote dans les autres réservoirs du sol, en l'occurrence les éléments échangeables, les formes organiques et les éléments totaux, pourrait être importante. La quantification de la concentration des nutriments dans les

autres réservoirs du sol s'avèrerait utile pour compléter le portrait nutritionnel des pessières à lichens (Stark, 1994).

Dans le traitement de préparation de terrain moins agressif de l'étude (Taupe) ainsi que dans le témoin non traité, le feuillage des plants d'épinette noire présentait des concentrations très faibles en nutriments, notamment en Azote et en Calcium. Ces concentrations sont très inférieures à des concentrations de plants reboisés en milieu naturel (N=1,8% et Ca= 0.58% (Munson et Timmer, 1989 ; Grossnickle, 2000)). Cela vient faire contraste aux teneurs en nutriments similaires dans la solution de sol dans tous les traitements de préparation de terrain à l'étude. Le prélèvement des plants est normalement le reflet du réservoir disponible pour les espèces végétales (Grossnickle, 2000). Ces faibles concentrations en nutriments dans le feuillage pourraient être le résultat non pas d'une différence dans la concentration de la solution de sol, mais notamment dans la distribution des éléments nutritifs dans ce réservoir, dans la contribution des autres réservoirs ainsi que d'autres facteurs concomitants pouvant directement ou indirectement influencer la prise des éléments nutritifs disponibles (Grossnickle, 2000). Par exemple, ces carences pourraient être expliquées par les conditions physico-chimiques et/ou par l'efficacité d'absorption des racines et radicelles (Caldwell, 1994). En pessières à lichens, la présence d'un épais tapis de lichens diminue la température du sol (Kershaw et Rouse, 1971). La couleur claire du lichen confère au sol un albédo élevé pouvant conserver une humidité supérieure

au sol des pessières à mousses (Kershaw et Rouse, 1971). Conséquemment, un sol plus frais diminue l'efficacité des racines à absorber l'eau et les nutriments du sol, ce qui pourrait induire des carences dans le feuillage des plants d'épinette noire (Bowen, 1991; Grossnickle, 2000). Suite au scarifiage, où le tapis de lichens a été largement diminué, des différences en azote dans le feuillage entre les deux milieux scarifiés subsistent. De plus, des différences de contenu foliaire en magnésium, calcium et en phosphore sont observées entre les plants dans les traitements scarifiés et ceux en milieux taupés et dans les parcelles sans traitement. Pour ces éléments nutritifs (Mg, Ca, P), au moins trois hypothèses peuvent expliquer les différences de concentration : 1) le scarifiage a perturbé significativement la végétation autour des plants pour en atténuer les impacts compétitifs (Boucher et al. 1998), 2) le scarifiage a suffisamment modifié les conditions physico-chimiques, ce qui pourrait permettre une plus grande disponibilité de nutriments dans les trois réservoirs du sol (Ballard, 2000; Grossnickle, 2000) ou 3) le scarifiage a suffisamment réchauffé le sol pour octroyer aux racines une température de prélèvement supérieure (Bowen, 1991).

Dans les deux types de milieux à l'étude, la végétation compétitive explique une certaine proportion de la distribution des nutriments dans la solution de sol, à l'instar d'autres études (Mallik, 1993; Stark, 1994; Bradley et al., 1997; Zackrisson et al., 1997; Grossnickle, 2000; Yamasaki et al., 2002). Les éricacées et les mousses influencent la solution de sol de façon inversement proportionnelle au

degré de perturbation : le fait d'augmenter l'agressivité du traitement de préparation de terrain diminue la force de la relation entre la distribution des nutriments de la solution de sol et la présence de végétation compétitive. L'influence de la végétation compétitive sur la solution de sol passe d'environ 30 % en milieux faiblement et non perturbés (taupage et sans traitement dans les pessières à lichens) à environ 20% en milieux scarifiés (mousses et lichens). Les résultats suggèrent également que ce sont les mêmes espèces végétales qui influencent la concentration des éléments minéraux dans la solution de sol, mais d'une façon différente selon le type de milieu. En plus de la contribution potentielle des autres réservoirs de nutriments dans le sol, la variance résiduelle pourrait être expliquée par une activité métabolique moins élevée du plant, et par le fait même, d'une limitation de la croissance du plant d'épinette noire (Vapaavuori et al., 1992; Grossnickle, 2000). De plus, en milieux faiblement perturbés, conséquence d'une plus grande densité de végétation hors du cercle d'influence étudié (35 cm de rayon ou 0.4 m<sup>2</sup> autour des plants), des interactions compétitives de plus forte intensité pourraient limiter la croissance de plants d'épinette noire au moyen de substances allélopathiques ou de mychorization plus agressive des éricacées (Yamasaki et al., 1998).

Deux questions subsistent : est-ce que les carences en nutriments dans le feuillage sont dû 1) à la présence de biomasse résiduelle de lichens à l'extérieur

du cercle d'influence de la végétation qui, même suite au scarifiage, conserve des conditions de sol plus frais que dans les pessières à mousses, limitant ainsi l'absorption des nutriments par les racines des plants d'épinette noire ? ou 2) est-ce dû à l'influence résiduelle de la compétition dans les pessières à lichens, qui influence la distribution des éléments nutritifs dans la solution de sol, donc dans le feuillage des plants d'épinette noire ?

Les résultats précédents montraient que la compétition exerçait une influence différente sur la solution de sol des pessières à lichens, par rapport aux pessières à mousses, ce qui s'avère une des hypothèses les plus plausibles pour expliquer les différences de concentrations en nutriments dans le feuillage. Dans les traitements scarifiés dans la pessière à mousses, les nutriments dans le feuillage sont influencés de façon significative par la végétation compétitive (13%) et par les nutriments de la solution de sol (26%), alors qu'aucune de ces relations n'a été observée dans les pessières à lichens. La relation entre la végétation, les nutriments de la solution de sol et les nutriments dans le feuillage est plus évidente dans la pessière à mousses scarifiée, ce qui pourrait être possiblement dû au niveau de perturbation (Ballard, 2000). Les pessières à mousses scarifiées ont subi deux perturbations (récolte, scarifiage) contrairement aux pessières à lichens scarifiées (non-récoltées). En pessière à mousses scarifiées, le passage répété de la machinerie, ou encore l'accumulation de résidus de coupe, pourrait accentuer la relation entre les différentes composantes de l'étude. En pessières à

lichens, les relations entre les différentes composantes de l'étude pourraient être plus diffuses. Des événements associés au passage de la machinerie peuvent modifier les conditions physico-chimiques du sol, le prélèvement des nutriments par les plantes et les réservoirs de nutriments du sol, et ainsi, modifier les relations entre les composantes végétales (Örlander et al., 1990; Caldwell, 1994; Ballard, 2000). Suite au passage répété de la machinerie dans les traitements scarifiés, la possible réduction de nutriments dans les différents réservoirs du sol ne semble pas être assez importante pour induire des limitations de croissance (et de contenu nutritif) telles que présentent les plants reboisés dans les pessières à lichens taupées et sans traitement (Brais et al., 1995). En pessières à lichens scarifiées, l'influence résiduelle de la compétition exerce une influence significative sur la solution de sol plus élevée que dans les pessières à mousses.

La croissance des plants n'a été que faiblement influencée par la distribution des éléments nutritifs de la solution de sol (18%) et du feuillage (12%) des plants, et ce uniquement dans les pessières à lichens scarifiées. La variance résiduelle pouvant expliquer la croissance des plants d'épinette noire pourrait dépendre de facteurs susceptibles d'influencer directement la croissance des plants. Selon la littérature, les facteurs les plus limitants pour la croissance de l'épinette noire seraient l'éclaircissement disponible et les réservoirs de nutriments du sol (Munson et Timmer, 1989; Grossnickle, 2000). Dans la présente étude, il y a une différence significative de l'éclaircissement disponible entre les traitements

scarifiés (moyenne de 88 % du plein éclaircissement) et les autres traitements (moyenne de 78 %). La présence d'arbres résiduels ainsi que la végétation compétitive dans les pessières à lichens Taupées et sans traitement de préparation de terrain serait à l'origine de cette réduction d'éclaircissement. Sachant que l'épinette noire présente une croissance optimale avec un éclaircissement au-delà de 60 %, cette diminution d'éclaircissement causée par la végétation compétitive et par les arbres environnants, ne peut cependant pas expliquer une réduction de croissance chez l'épinette noire (Jobidon, 1994). Malgré l'absence de différence dans la concentration de la solution de sol, la distribution de ces nutriments dans la solution de sol a eu un effet sur la croissance des plants. Étant donné que les nutriments du sol sont répartis dans trois réservoirs principaux, la concentration en nutriments disponibles dans les autres réservoirs du sol (formes organiques et totaux) pourrait également expliquer cet effet sur la croissance des plants d'épinette noire (Stark, 1994).

Les conditions physico-chimiques du sol constituent d'importants facteurs régissant la croissance de plants conifériens (Grossnickle, 2000). Les perturbations anthropiques sont la cause majeure de modifications des conditions édaphiques des sites expérimentaux. La variance résiduelle peut ainsi dépendre des perturbations qu'ont subi les sites expérimentaux et des événements qui en sont associés (Mallik, 1993; Stark, 1994; Camiré et al., 1996). Contrairement aux pessières à mousses, les pessières à lichens scarifiées n'ont subi qu'une seule

perturbation. Le double passage de la machinerie dans la pessière à mousses pourrait expliquer le fait que l'influence de la compétition sur la solution de sol soit différente. Suite au passage de la machinerie, la compaction du sol est modifiée, influençant le régime thermique et hydrique du sol, pouvant créer ainsi des conditions de croissance plus favorables (Ballard, 2000; Grossnickle, 2000). Après une coupe forestière, le réservoir de Ca, Mg et K est réduit proportionnellement à la quantité de bois emmenée (Caldwell, 1994 ; Brais et al., 1995; Brais et al., 2000 ; Simard et al., 2001). Selon les résultats obtenus, il semble que la récolte a eu un effet bénéfique sur la croissance indépendamment de son réservoir de nutriments de la solution de sol. Le passage répété de la machinerie forestière contribue également à diminuer la densité et la biomasse de végétation compétitive sur le terrain, induisant ainsi une diminution des interactions compétitives avec les plants d'épinette noire (Brais et al., 2000).

### ***Considérations sylvicoles***

Dans l'actuel système forestier québécois, les pessières à lichens sont considérées comme des milieux « fragiles » et/ou à faible productivité (Indice de Qualité de Station (IQS)) (Bergeron 1996 ; Anonyme, 2002 et 2003). Les données recueillies lors de cette étude permettent d'avancer que, trois ans après un reboisement dans des pessières à lichens, des plants d'épinette noire peuvent avoir une croissance en hauteur et en diamètre similaire aux plantations dans des pessières à mousses, lorsque le terrain a été préparé au minimum au moyen d'un

traitement de préparation de terrain traditionnel (scarificateur à disques). Les pessières à lichens scarifiées semblent donc présenter un potentiel de croissance comparables aux pessières à mousses scarifiées. Bien que la croissance en hauteur et en diamètre soit similaire dans les pessières à mousses et à lichens scarifiées, la croissance en biomasse totale présente de légères différences qui devront être documentées à plus long terme. L'augmentation de l'agressivité du traitement de préparation de terrain visant à réduire davantage la végétation compétitive et à modifier suffisamment l'équilibre nutritionnel de la solution de sol pourrait hypothétiquement remédier à ce problème (Ballard, 1990). Le traitement de préparation de terrain Taupe a présenté un potentiel de croissance nettement inférieur aux terrains scarifiés et ne s'avère donc pas recommandable pour la remise en production des pessières à lichens.

Bien que la végétation compétitive n'ait pas eu d'effets directs sur la croissance des plants, elle a tout de même eu une influence significative sur la distribution des éléments nutritifs dans la solution de sol. Les traitements de préparation de terrain parviennent donc, après trois ans, à diminuer la végétation compétitive, sans toutefois supprimer complètement son influence sur la solution de sol. Les résultats obtenus ont révélé que le niveau de perturbation est déterminant sur l'influence que peut avoir la végétation compétitive sur l'équilibre nutritionnel de la solution de sol (Brais et al., 1995).

Seulement entre 10 et 20% de la croissance des plants d'épinette noire peut être expliquée directement par l'équilibre la solution de sol, dépendamment du traitement de préparation de terrain. Des recherches approfondies sur la solution de sol ainsi que sur les autres réservoirs de nutriments du sol doivent être réalisées pour expliquer la variance résiduelle. L'étude ne porte que sur une année; la solution de sol peut changer d'une année à l'autre dépendamment des conditions climatiques de l'année (précipitations, neige, température). Une étude sur plusieurs années impliquant également les réservoirs de nutriments organiques et totaux, ainsi que différents niveaux de perturbation avant plantation pourraient faire l'objet de nouvelles recherches pour le bénéfice de la remise en production des pessières à lichens de la forêt boréale commerciale.

## **CONCLUSION**

Cette étude avait pour but de documenter certains aspects nutritionnels de la remise en production des pessières à lichens. Avant d'effectuer la remise en production des pessières à lichens, il faut s'assurer de bien connaître la dynamique ainsi que les réponses au reboisement des différentes composantes végétales présentes sur le territoire. Les résultats obtenus ont permis d'avancer des évidences à l'effet que les pessières à lichens scarifiées possèdent un potentiel de croissance comparable aux pessières à mousses. Dans les traitements de préparation de terrain agressifs, les plants d'épinette noire ont présenté une croissance en hauteur et diamètre similaire. La croissance en masse sèche totale était par contre différente entre les deux milieux, indiquant une possible influence résiduelle de la compétition sur les plants dans les pessières à lichens, ou autres facteurs non évalués dans le cadre de ce travail.

Les résultats obtenus dans la présente étude suggèrent que la solution de sol des pessières à lichens et des pessières à mousses présentent une concentration égale des principaux nutriments de la solution de sol. La solution de sol constitue le plus grand réservoir de nutriments dans un sol, elle est donc un reflet important de l'activité métabolique potentielle d'un plant. Toutefois, les plants dans les pessières à lichens faiblement perturbées ayant présenté des concentrations foliaires en nutriments bien en-dessous des concentrations dites « normales », il convient d'étudier les autres réservoirs de nutriments dans le sol afin de tester encore plus rigoureusement cette hypothèse.

La végétation compétitive exerce aussi une influence relativement faible mais significative sur le réservoir de nutriments de la solution de sol, mais aucun effet direct sur la croissance des plants. La présence d'éricacées, de mousses et de lichens influence le réservoir de nutriments mais différemment selon le type de milieu (pessières à lichens vs à mousses). Le degré de perturbation des sites pourrait jouer un rôle clé dans la croissance des plants d'épinette noire. En modifiant les conditions édaphiques des sites expérimentaux, la machinerie forestière créerait possiblement des conditions favorables à la croissance. Le degré de perturbation n'étant pas le même dans la pessière à lichens scarifiée que dans celle à mousses scarifiée, ceci pourrait expliquer en partie que la croissance en biomasse des semis échantillonnés dans ces deux milieux soit significativement différente.

En terminant, cette étude a permis d'avancer quelques éléments scientifiques permettant de supporter l'idée de la remise en production éventuelle des pessières à lichens de la forêt boréale commerciale. Plusieurs facteurs peuvent influencer la croissance de plants et il semble que la variance résiduelle, non expliquée dans cette étude, soit plus importante que la végétation compétitive et/ou les nutriments dans la solution de sol. En ce qui a trait à la solution de sol, une fenêtre d'une année n'est sans doute pas suffisante pour tirer des conclusions à long terme. Les facteurs climatiques peuvent influencer grandement le réservoir

en nutriments du sol. Une étude sur plusieurs années sur les trois réservoirs de nutriments ajouterait une information intéressante pour valider l'idée de remettre en production des superficies significatives de territoires forestiers identifiés pessières à lichens.

## RÉFÉRENCES

- Aitchison, J. 1983. Principal component analysis of compositional data. *Biometrika*. 70 (1). 57-65.
- Anonyme. 2002. Normes d'inventaire forestier .Placettes-échantillons temporaires. Peuplements de 7 m et plus de hauteur. Direction des inventaires forestiers, Forêt Québec, Ministère des ressources naturelles, de la faune et des parcs.
- Anonyme. 2003. Règlement sur les normes d'intervention dans les forêts du domaine de l'état. Loi sur les forêts. Les publications du Québec. Gouvernement du Québec (Canada) 1-143.
- Arseneault, D. et Payette, S. 1992. A postfire shift from lichen-spruce to lichen-tundra vegetation at tree line. *Ecology*. 73 (3), 1067-1081.
- Ballard, T.M. 2000. Impacts of forest management on northern forest soils. *Forest Ecology and Management*. 133. 37-42
- Bergeron, J-F. 1996. Écologie Forestière. Chapitre 3F. Domaine de la pessière noire à mousses. Manuel de Foresterie. Les presses de l'Université Laval. Québec. 135-240
- Boucher, J.-F., Wetzel, S., and Munson, A.D. 1998. Leaf level response of planted eastern white pine (*Pinus strobus* L.) seven years after intensive silvicultural treatments. *Forest Ecol. Manage.* 107: 291-307.
- Boucher, J-F., Bernier, P.Y. et Munson, A.D. 2001. Radiation and soil temperature interactions on the growth and physiology of eastern white pine (*Pinus strobus* L.) seedlings. *Plant and soil*. 236, 165-174.

- Bowen, R.D., 1991. Soil temperature, root growth, and plant function. *In* Plants roots: The hidden half. Eds. Y.Waisel., A. Eshel., and U. Kafkafi. Marcel Dekker, Inc. NewYork (USA), 309-330.
- Bradley, R.L., Titus, B.D., et Fyles, J.W. 1997. Nitrogen acquisition and competitive ability of *Kalmia angustifolia* L., paper birch (*Betula papyrifera* Marsh.) and black spruce (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) seedlings grown on different humus forms. *Plant and soil*. 195 (2), 209-220.
- Brais, S., Camiré, C., et Paré, D. 1995. Impacts of whole-tree harvesting and winter windrowing on soil pH and base status of clayey sites of northwestern Québec. *Can. J. For. Res.* 25. 997-1007.
- Brais, S., Paré, D., et Ouimet, R., 2000. Impacts of wild fire severity and salvage harvesting on the nutrient balance of jack pine and black spruce boreal stands. *Forest ecology and management*. 137. 231-243.
- Caldwell, M.M. 1994. Exploiting nutrients in fertile soil microsites. *In* Exploitation of environmental heterogeneity by plants. Ecophysiological processes above- and belowground. Academic Press, Inc., U.S.A. 325-347.
- Camiré, C., Belair, J.-L., Coderre, D., Côté, B., Dubois, J.-M., Dunnigan, J., Gangloff, P., Godbout, C., Lafond, R., Martineau, G., Meek, P., Munson, A.D., Ouimet, R., Pagé, F., Plamondon, A.P., Prévost, M., Tremblay, J., et Trembley, P.S. 1996. Géologie, dépôts de surface et sols forestiers. Chapitre 1. Manuel de foresterie. Les presses de l'Université Laval, Québec. 7-95.

- Chapin, F.S. 1983. Patterns of nutrient absorption and use by plants from natural and man-modified environments. In disturbance and ecosystems, components of response. Edité par H.A. Mooney et M.Godron. Springer-Verlag, New York. 175-187
- Côté, D., Gagnon, R., Lord, D., Allaire, J., et Walsh, D. 2003. Les milieux ouverts sur station sèche de la pessière : origines, évolution et intérêt en AFD. Affiche Carrefour de la recherche forestière, avril 2003. Sainte-Foy, Québec, Canada.
- Devore, J. et Peck, R. 1994. Introductory Statistics. 2nd ed., West Publishing Company, St. Paul, MN, USA.
- Doucet, R., Pineau, M., Ruel, J-C., et Sheedy, G. 1996. Sylviculture appliquée. Chapitre 23. Manuel de Foresterie. Les Presses de l'Université Laval, Québec. 967-997
- Dreyer, E., Fichter, J., et Bonneau, M. 1994. Nutrient content and photosynthesis of young yellowing Norway spruce tree following calcium and magnesium fertilization. Plant and soil, 160, 67-78.
- Environnement Canada. 2003. Normales et moyennes climatiques, Chibougamau-Chapais, année 2002. Service de l'environnement atmosphérique, Environnement Canada.
- Gagnon, R. Morin H. Lord D. Krause C. Potvin J. Savard G. et Cloutier S. 1999. Nouvelles connaissances sur la dynamique naturelle des forêts d'épinette noire au Québec. L'aubelle 10-14.

- Grossnickle, S.C. 2000. Ecophysiology of northern spruce species, The performance of planted seedlings. Édité par NRC Research Press. Vancouver, BC. Canada. 293-313.
- Inderjit et Mallik, A. U. 1999. Nutrient status of black spruce (*Picea mariana* (Mill.) BSP) forest soils dominated by *Kalmia angustifolia* L. *Acta Oecologia*. 20 (2), 87-92.
- Inderjit et Mallik, A.U. 1997. Effects of *Ledum groenlandicum* amendments on soil characteristics and black spruce seedling growth. *Plant Ecology* 133 (1), 29-36.
- Inderjit et Mallik A.U. 1996. Growth and physiological responses of black spruce (*Picea mariana*) to sites dominated by *Ledum groenlandicum*. *Journal of Chemical Ecology*. 22 (3), 575-585.
- Jobidon, R. 1994. Light threshold for optimal black spruce (*Picea mariana*) seedling growth and development under brush competition. *Canadian Journal of Forest Research*. 24, (8): 1629-1635.
- Kaspar, T.C. et Bland, W.L. 1992. Soil temperature and root growth. *Soil Science*. 154, 290-299.
- Kershaw, K.A. et Rouse, W.R. 1971. Studies on lichen-dominated systems. The water relations of *Cladonia alpestris* in spruce-lichen woodland in northern Ontario. *Canadian Journal of Botany*. 49, 1389-1399
- Kuuluvainen, T.; Hokkanen, T. J.; Järvinen, E., et Pukkala, T. 1993. Factors related to seedling growth in a boreal scots pine stand: a spatial analysis of a vegetation-soil system. *Canadian Journal of Forest Research*. 23, 2101-

2109.

- Mallik, A.U. 1991. Cutting, burning, and mulching to control *Kalmia*: results of a greenhouse experiment. *Canadian Journal of Forest Research*. 21, 417-420.
- Mallik, A.U. 1993. Ecology of a forest weed of Newfoundland: vegetative regeneration strategy of *Kalmia angustifolia*. *Canadian Journal of Botany*. 71, 161-166.
- Mallik A.U. et Zhu H. 1994. Interactions between *Kalmia* and black spruce: isolation and identification of allelopathic compounds. *Journal of Chemical Ecology*. 20 (2), 407-421.
- Marquis, F., Camiré, C., et Lachance, M. 1999. Distribution des cations basiques et de l'aluminium dans la solution de sol de l'horizon humifère d'une érablière fertilisée: représentativité des extraits de sol saturé à l'eau. *Canadian Journal of Soil Science*. 79, 47-55.
- Messier, C. et Puttonen, P. 1995. Spatial and temporal variation in the light environment of developing Scots pine stands: The basis for a quick and efficient method of characterizing light. *Canadian Journal of Forest Research*. 25, 343-354.
- Morris, D.M. et MacDonald, G.B. 1991. Development of a competition index for young conifer plantation established on boreal mixedwood sites. *The Forestry Chronicle*. 67, 4, 403-410.

- Munson, A.D. et Timmer, V.R. 1989. Site-specific growth and nutrition of planted *Picea mairana* in the Ontario Clay Belt. II. Effects of nitrogen fertilization. Canadian Journal of Forest Research. 19, 171-178.
- Örlander, G., Gemmel, P. et Hunt, J. 1990. Site preparation : an overview. FRDA rep 105. Forestry Canada et British Columbia Ministry of Forests, Victoria BC.
- Payette, S. Et Delwaide, A. 2003. Shift of conifer boreal forest to lichen-heath parkland caused by successive stand disturbances. Ecosystems. 6: 540-550.
- Payette, S.; Bhiry, N.; Delwaide, A., et Simard, M. 2000. Origin of the lichen woodland at its southern range limit in eastern Canada: the catastrophic impact of insect defoliators and fire on the spruce-moss forest. Canadian Journal of Forest Research. 30, 288-305.
- Payette, S. et Gagnon, R. 1985. Late Holocene deforestation and tree regeneration in the forest-tundra of Québec. Nature. 313, 570-572.
- Riverin, S. et Gagnon, R. 1996. Dynamique de la régénération d'une pessière à lichen dans la zone de la pessière noire à mousses, nord du Saguenay-Lac-Saint-Jean (Québec). Canadian Journal of Forest Research. 26, 1504-1509.
- Setälä, H., Haimi, J. et Siira-Pietikäinen, A. 2000. Sensitivity of soil processes in northern forest soils: are management practices a threat ?. Forest Ecology and Management. 133. 5-11.

- Simard, D.G., Fyles, J.W., Paré, D., et Nguyen, T. 2001. Impacts of clearcut harvesting and wildfire on soil nutrient status in the Québec boreal forest. *Can. J. Soil. Sci.* 81. 229-237.
- Simard, M. et Payette S. 2001. Black spruce decline triggered by spruce budworm at the southern limit of lichen woodland in eastern Canada. *Canadian Journal of Forest Research.* 31, 2160-2172.
- Sirois, L. et Payette, S. 1989. Postfire black spruce establishment in subarctic and boreal Quebec. *Canadian Journal of Forest Research.* 19, 1571-1580.
- Stark, J.M. 1994. Causes of soil nutrient heterogeneity at different scales. In *Exploitation of environmental heterogeneity by plants. Ecophysiological processes above- and belowground.* Academic Press, Inc., U.S.A. 255-284.
- Steel, R.G.D. et Torrie, J.H. 1980. *Principles and procedures of statistics.* 2<sup>nd</sup> edition. McGraw-Hill publishing Company. United States of America. 1-625.
- Vapaavuori, E.M., Rikala, R., et Ryyppo, A. 1992. Effects of root temperature on growth and photosynthesis in conifer seedlings during shoot elongation. *Tree physiology.* 10, 217-230.
- Yamasaki S. H.; Fyles J. W.; Egger K. N., et Titus B. D. 1998. The effect of *Kalmia angustifolia* on the growth, nutrition and ectomycorrhiza symbiont community of black spruce. *Forest Ecology and Management.* 105, 197-207.
- Yamasaki, S., Fyles J. W., et Titus B. D. 2002. Interaction among *Kalmia angustifolia*, soil characteristics and the growth and nutrition of black spruce

seedlings in two boreal Newfoundland plantations of contrasting fertility. *Canadian Journal of Forest Research*. 32, 2215-2224.

Zackrisson, O., Nilsson, M.C., Dahlberg, A. et Jaderlund, A. 1997. Interference mechanisms in conifer-Ericaceae-feathermoss communities. *Oikos*. 78(2), 209-220.

## **ANNEXE**

Tableau 8: Historique des sites

Bloc	Dépôt	Récolte	Préparation de terrain	Plantation
1 Scarifié PM	Till indifférencé mince	1997**	1997 TTS	Sept. 1999
1 Scarifié PL	Till indifférencé	Non récolté	1999 TTS	Sept. 1999
1 Taupe PL	Till indifférencé	Aucune	Taupe 1999	Sept. 1999
1 Sans préparation PL	Till indifférencé	Aucune	Aucun	Sept. 1999
2 Scarifié PM	Till indifférencé	1994	1998 TTS	Sept. 1999
2 Scarifié PL	Moraine cotelée	Non récolté	1998 TTS	Sept. 1999
2 Taupe PL	Moraine cotelée	Aucune	Taupe 1999	Sept. 1999
2 Sans préparation PL	Moraine cotelée	Aucune	Aucun	Sept. 1999
3 Scarifié PM	Till indifférencé	1994	1998 TTS	Sept. 1999
3 Scarifié PL	Till indifférencé	Non récolté	1998 TTS	Sept. 1999
3 Taupe PL	Till indifférencé	Aucune	Taupe 1999	Sept. 1999
3 Sans préparation PL	Till indifférencé	Aucune	Aucun	Sept. 1999
4 Scarifié PM	Till indifférencé	1998	1999 TTS*	Oct. 1999
4 Scarifié PL	Till indifférencé	Non récolté	1999 TTS*	Oct. 1999
4 Taupe Pessière à lichens	Till indifférencé	Aucune	Taupe 1999	Sept. 1999
4 Sans préparation PL	Till indifférencé	Aucune	Aucun	Sept. 1999
5 Scarifié PM	Till indifférencé	1998	1999 TTS*	Oct. 1999
5 Scarifié PL	Till indifférencé	Non récolté	1999 TTS*	Oct. 1999
5 Taupe PL	Till indifférencé	Aucune	Taupe 1999	Sept. 1999
5 Sans préparation PL	Till indifférencé	Aucune	Aucun	Sept. 1999

\*TTS non mécanisé ; \*\*Feu 1998