

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI

EFFET DU SCARIFIAGE SUR L'ENSEMENCEMENT NATUREL  
DE L'ÉPINETTE NOIRE (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.)  
DANS DES PESSIÈRES NOIRES À LICHENS

MÉMOIRE DE MAÎTRISE  
DANS LE CADRE D'UN ÉCHANGE CRÉPUQ

Master 1<sup>ère</sup> année, Aménagement Développement et Environnement  
UBO (Université de Bretagne Occidentale), France

Maîtrise en Ressources Renouvelables  
UQAC (Université du Québec à Chicoutimi), Québec Canada

PAR  
Cécile MADEC

SEPTEMBRE 2004 à MAI 2005

## REMERCIEMENTS

Ce travail de recherche a été exécuté dans le cadre d'un programme d'échange CREPUQ (Conférence des Recteurs et des Principaux des Universités du Québec), je tiens donc à remercier l'université d'accueil au Canada, l'UQAC (Université du Québec à Chicoutimi) et l'université d'origine en France, l'UBO (Université de Bretagne Occidentale). Je remercie également Mme HOURMANT, professeure à l'UBO, pour son aide dans les démarches administratives.

Merci à M. Frédéric BIORET, directeur de recherche à l'UBO (France) et à M. Daniel LORD, directeur de recherche à l'UQAC (Québec). Merci à toute l'équipe reliée au pavillon de la recherche forestière de l'UQAC ainsi qu'au laboratoire d'écologie végétale de l'UQAC.

Merci au FQRNT et au Consortium de recherche sur la forêt boréale commerciale pour le soutien financier à la mise en place de l'étude.

## RÉSUMÉ

Au sein de la forêt boréale commerciale, domaine fermé et majoritairement composé de pessières noires à mousses, il existe des zones ouvertes appelées pessières noires à lichens. Les pessières noires à lichens s'installent à la suite de perturbations en rafale. Avant ces accidents de régénération, les sites soutenaient un peuplement dense d'épinettes noires. La régénération naturelle de ces zones est précaire car le sol, recouvert d'un tapis végétatif composé de lichens et d'éricacées, limite l'établissement des semis. Une intervention humaine est nécessaire pour entamer un processus de régénération. L'hypothèse ici testée est que le scarifiage, préparation de terrain agressive exposant le sol minéral, favorise l'ensemencement naturel des épinettes noires. Pour étudier ce phénomène, des pessières noires à lichens, situées le long du 50<sup>e</sup> degré de latitude nord, dans la région du Saguenay - Lac Saint Jean (n°02) du Québec au Canada, ont été scarifiées et l'installation naturelle de semis sur ces sites a ensuite été suivie. Les résultats de l'étude révèlent un établissement important de semis dans les sillons de scarifiage. L'installation des semis sur les sites perturbés dure cinq ans environ avec un maximum les trois premières années. La régénération établie sur les sites est suffisamment âgée et dense pour espérer un établissement à long terme. La densité en semenciers sur chacun des sites n'a pas été un facteur limitant dans la répartition des semis mais c'est la surface scarifiée qui s'est avérée limitante dans la distribution des semis. Les semis présentent une croissance plus ou moins semblable sur tous les sites.

**Mots-clés :** *pessières noires à lichens, scarifiage, ensemencement naturel.*

## TABLE DES MATIÈRES

<b>Remerciements</b> .....	ii
<b>Résumé</b> .....	iii
<b>Table des matières</b> .....	iv
<b>Liste des figures</b> .....	v
<b>Liste des tableaux</b> .....	vi
<b>Chapitre 1</b> Introduction .....	1
<b>Chapitre 2</b> Matériel et méthodes .....	4
Description et localisation des sites .....	5
Dispositif expérimental .....	6
Échantillonnage et mesures .....	8
Analyses statistiques et traitement des données .....	8
<b>Chapitre 3</b> Résultats .....	11
<b>Chapitre 4</b> Discussion .....	21
<b>Chapitre 5</b> Conclusion .....	26
<b>Chapitre 6</b> Références .....	28

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1</b> Dispositif expérimental .....	7
<b>Figure 2</b> Analyse graphique de la répartition des semis totaux (toutes les espèces) et des semis d'épinette noire (EPN) dans les six sites d'échantillonnage .....	13
<b>Figure 3</b> Analyse graphique de la présence des sillons dans les six sites d'échantillonnage .....	14
<b>Figure 4</b> Proportion de semis par classes d'âge dans les sites .....	16
<b>Figure 5</b> Étude des hauteurs des semis d'épinette noire âgés de 0 à 5 ans .....	19
<b>Figure 6</b> Étude du diamètre des semis d'épinette noire âgés de 0 à 5 ans .....	20

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1</b> Coordonnées des sites et années de leurs traitements .....	6
<b>Tableau 2</b> Caractéristiques des sites .....	6
<b>Tableau 3</b> Description des semenciers dans les différents sites .....	12
<b>Tableau 4</b> Proportions (%) de semis totaux et de semis d'épinettes noires (EPN) installés dans le sillon ou hors du sillon et proportion de surface scarifiée dans chaque site .....	13
<b>Tableau 5</b> Analyse par test de Pearson de l'installation préférentielle des semis et de la proportion de scarifiage sur la zone échantillonnée sans distinction des sites .....	14
<b>Tableau 6</b> Analyse des khi-deux des fréquences de semis par classes d'âge entre les sites I, II, III, IV, V et VI .....	15
<b>Tableau 7</b> Densité en semis (semis.m <sup>-2</sup> ) dans les différents sites et proportion par espèces .....	17
<b>Tableau 8</b> Coefficient de distribution (CD) des semis (totaux) sur les sites étudiés .....	17
<b>Tableau 9</b> Tableau de corrélation entre les variables .....	18
<b>Tableau 10</b> Analyse par régressions multiples pas à pas ( <i>stepwise linear multiple regression</i> ) de la corrélation entre la densité en semis transformée (Log10 (Dsemis+1)) et les trois variables indépendantes : la surface scarifiée, la distance et le dhp des semenciers .....	18
<b>Tableau 11</b> Valeur des coefficients de l'analyse par régressions multiples expliquant la densité en semis sur les six sites d'échantillonnage .....	19
<b>Tableau 12</b> Analyse de la corrélation entre les hauteurs et diamètres (transformation logarithmique) des semis d'épinette noire âgés de 0 à 5 ans entre les sites et suivant leur âge .....	19
<b>Tableau 13</b> Test de Tukey HSD pour comparer les moyennes du diamètre des semis d'épinette noire âgés de 0 à 5 ans entre les sites .....	20

**CHAPITRE 1**  
**INTRODUCTION**

Dans la forêt boréale commerciale, il existe des zones non exploitées car classées improductives ou fragiles (Anonyme, 2002 et 2003). Certaines de ces zones sont appelées des pessières noires à lichens. Les pessières noires à lichens (PNL) sont des domaines ouverts caractérisés par un recouvrement arborescent inférieur à 40 % et un sol recouvert à plus de 40 % par différentes espèces de lichens (Anonyme, 2002 et 2003). La productivité ligneuse de ces zones est inférieure à 30 m<sup>3</sup> ou plus par hectare sur une période de 120 ans (Anonyme, 2002 et 2003). Les PNL représentent environ 5 à 10 % de territoire non exploitable en forêt boréale commerciale.

La formation des pessières noires à lichens au sein de la forêt boréale commerciale a été largement étudiée par Lavoie (1994), Riverin (1994), Gagnon (1998), Payette et al (2000), Gagnon et Morin (2001) et Côté (2004). D'après eux, les pessières noires à lichens, situées au sein d'un domaine fermé, se forment à la suite de deux perturbations naturelles en rafale, telles deux feux successifs ou telle une épidémie d'insectes défoliateurs suivie d'un feu. Les deux insectes défoliateurs principaux sont la chenille *Choristoneura fumiferana* (Clem) ou Tordeuse des bourgeons de l'épinette, et la mouche à scie européenne, *Gilpinia hercyniae* (Hartig). L'ouverture du domaine est enclenchée lorsque les arbres établis à la suite de la première perturbation ne sont pas encore des semenciers lors du passage de la seconde perturbation. Les épinettes noires sont qualifiées de semencières lorsqu'elles portent des graines viables dans leurs cônes, ce qui demande un minimum d'environ trente (30) à cinquante (50) ans (Zasada, 1971 ; Black et Bliss, 1980). Si les épinettes noires n'ont pas de semences dans leurs cônes avant le passage d'une perturbation, après le passage de celle-ci, la régénération en épinettes sur le site est compromise. Ainsi, faute d'une période de temps suffisante à la formation d'un réservoir en graines viables, la régénération d'un site ayant subi deux perturbations en rafale est faible. Le sol sera alors investi par des mousses et des éricacées, puis par des lichens (Ahlgren et Ahlgren, 1960 ; Viereck, 1983 ; Morneau et Payette, 1989 ; Côté, 2004). Ainsi recouvert, le sol minéral, substrat de germination préférentiel pour les semis d'épinettes noires (Lutz, 1956 ; Filion et Morin, 1996 ; Fleming et Mossa, 1994 ; Lavoie, 1994 ; Prévost, 1997 ; Pothier, 2000), ne sera plus accessible aux futures graines des arbres survivants devenus adultes. Ce phénomène



de régression du nombre d'épinettes noires sur un territoire est appelé processus ouvert (Gagnon, 1998 ; Gagnon et Morin, 2001). Ces sites, avant le passage des perturbations successives, soutenaient un peuplement fermé d'épinettes noires (Lavoie, 1994 ; Riverin, 1994 ; Riverin et Gagnon, 1996 ; Côté, 2004).

Une fois le processus d'ouverture enclenché, il est peu probable qu'il y ait un retour de l'épinette noire et une fermeture naturelle du peuplement (Morneau et Payette, 1989 ; Riverin, 1994 ; Riverin et Gagnon, 1996 ; Payette et al, 2000 ; Gagnon et Morin, 2001). Au contraire, on assiste à une diminution progressive du recouvrement arborescent (Morneau et Payette, 1989 ; Riverin et Gagnon, 1996). Il faut donc une intervention humaine pour entamer un processus de fermeture. La première méthode de repeuplement pratiquée fut la plantation. Celle-ci s'est effectuée sur des terrains préparés plus ou moins agressivement, par la méthode du scarifiage (formation d'un sillon) ou celle du taupage (création d'un large trou). Suite aux résultats positifs du scarifiage (Stathers et Spittlehouse, 1990 ; Prévost et Dumais, 2003 ; Girard, 2004 ; Hébert, 2004 ; Thiffault et al, 2003a, 2004) mais face aux coûts élevés de plantation, une seconde méthode permettant d'entamer le processus de fermeture a été envisagée. Cette seconde méthode, novatrice dans le domaine, ne fait plus appel au reboisement mais à l'ensemencement naturel. Celle-ci se base sur des observations de terrain, un nombre important de semis a en effet été observé dans les sillons de scarifiage (D. Lord, *communication personnelle*). Des arbres adultes, avec des graines viables dans leurs cônes, sont donc présents sur les sites. Cependant, celles-ci ne peuvent se développer une fois tombées au sol car ce dernier est recouvert d'un épais tapis végétatif (lichens). Il suffirait donc d'exposer le sol minéral pour que la régénération par ensemencement naturel puisse s'effectuer. Cette allégation est soutenue par Prévost (1996), qui démontre que le scarifiage améliore l'établissement de l'épinette noire par ensemencement naturel dans des pessières noires à mousses. De même, Karlsson et al (2002) ainsi que Pothier (2000) observent un effet positif du scarifiage sur l'établissement des semis dans des sites ayant subi un scarifiage après une coupe.

Le but du présent projet est d'étudier l'installation de semences d'épinettes noires dans des pessières noires à lichens perturbées par le scarifiage. L'hypothèse de l'étude est que les semis s'installent préférentiellement dans les sillons de scarifiage.

**CHAPITRE 2**  
**MATÉRIEL ET MÉTHODES**

## DESCRIPTION ET LOCALISATION DES SITES

L'étude est réalisée sur six sites situés le long du 50<sup>e</sup> degré de latitude nord, dans la région du Saguenay - Lac-Saint-Jean (n°02) du Québec au Canada. Ces sites ont été retenus car ils sont localisés dans des pessières noires à lichens installées naturellement, à la suite de perturbations, au sein de la pessière noire à mousses (Saucier et al, 1998). Dans le cadre d'un vaste projet de recherche, appelé « Remise en production », mené par l'UQAC (Université du Québec à Chicoutimi) en collaboration avec le Ministère des Ressources Naturelles (MRN), les six pessières noires à lichens ont subi des plantations d'épinettes noires et de pins gris sur différentes zones du terrain, préparées plus ou moins agressivement (scarifiage, taupage). C'est dans les zones scarifiées et plantées de chaque pessière noire à lichens qu'ont été sélectionnés les six sites étudiés. Le scarifiage a été réalisé à l'aide d'un scarificateur à disques. Chaque zone à scarifier a été quadrillée par les sillons de scarifiage de façon à parcourir le plus uniformément possible la surface étudiée. Les sillons sont donc orientés majoritairement dans le sens de la longueur et sont distants de deux mètres les uns des autres. Les plantations en épinette noire et en pin gris se sont effectuées dans le creux de ces sillons.

Les sites I et II sont à environ 200 km de la ville Saguenay, près de la rivière Mistassibi. Les sites III et IV sont à 195 km environ de Saguenay, près du lac Péribonka. Ces quatre sites ont été scarifiés en 1999 et plantés en 2000. Ils ont déjà été étudiés dans le cadre de deux mémoires effectués par Girard (2004) et Hébert (2004), à l'occasion du vaste projet de recherche « Remise en production ». C'est à 340 km environ de Saguenay que se trouvent les sites V et VI, à l'ouest du lac Mistassini. Ces deux derniers sites ont été scarifiés en 2001 et plantés en épinettes noires et en pins gris en 2001.

Les coordonnées de ces six sites ainsi que les années de scarifiage et de plantations sont rassemblées dans le **tableau 1**.

**Tableau 1** Coordonnées des sites et années de leurs traitements.

SITES	COORDONNÉES		ANNÉES	
	Latitude	Longitude	Scarifiage	Plantation
I	50°08'60"N	71°58'30"W	1999	2000
II	49°59'24"N	71°58'12"W	1999	2000
III	50°10'48"N	71°10'12"W	1999	2000
IV	50°10'48"N	71°10'12"W	1999	2000
V	50°34'20"N	74°24'32"W	2001	2001
VI	50°31'39"N	74°23'49"W	2001	2001

Les caractéristiques des stations sont données au **tableau 2**.

**Tableau 2** Caractéristiques des sites.

	SITES					
	I	II	III	IV	V	VI
Dépôt de surface	till indifférencié (dépôts glaciaires)	till indifférencié (dépôts glaciaires)	till indifférencié (dépôts glaciaires)	till indifférencié (dépôts glaciaires)	till indifférencié (dépôts glaciaires)	épandage (dépôts fluvio- glaciaires)
Drainage	drainage modéré	bon drainage	drainage modéré	drainage modéré	drainage modéré	drainage imparfait
régime hydrique	mésique	mésique	mésique	mésique	mésique	mésique
Pente moyenne (%)	10	10	10	10	3	3
Altitude moyenne (m)	535	535	535	535	409	409
Températures annuelles moyennes	de - 2,5°C à 0,0°C	de - 2,5°C à 0,0°C	de - 2,5°C à 0,0°C	de - 2,5°C à 0,0°C	de - 2,5°C à 0,0°C	de - 2,5°C à 0,0°C
Précipitations annuelles moyennes (mm)	1 000 – 1 200	1 000 – 1 200	1 000 – 1 200	1 000 – 1 200	700 - 900	700 - 900
Couvert neigeux (cm)	300	300	300	300	300	300

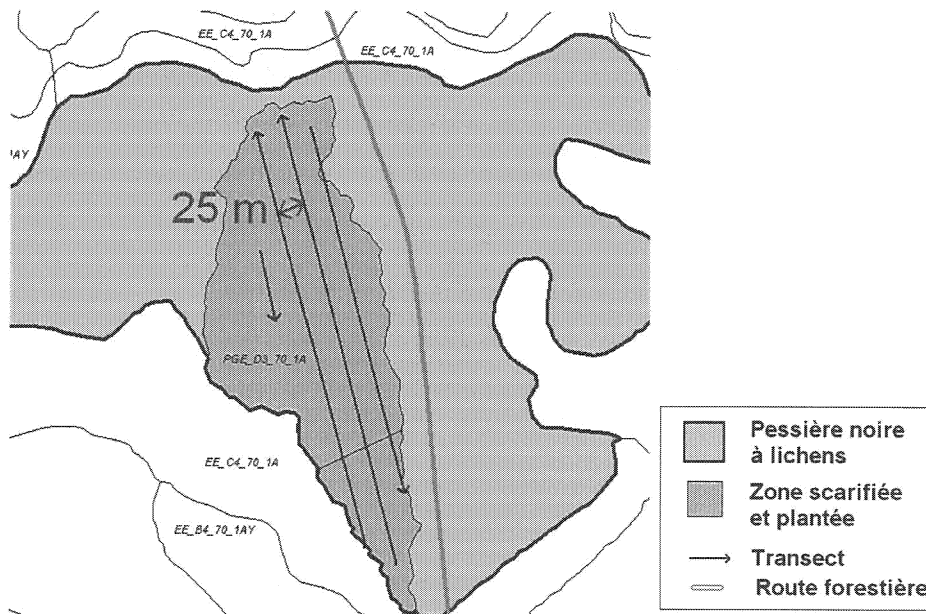
Sources : (1) *Cartes écoforestière, troisième inventaire écoforestier, Ministère des ressources naturelles, de la faune et des parcs du Québec, juin 2003.* (2) *Robitaille A et Saucier JP, 1998.* (3) *Saucier, 1994.*

## DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

La vérification de l'installation préférentielle des semis dans les sillons de scarifiage a été effectuée par dénombrement de semis dans les zones scarifiées et plantées des pessières noires à lichens.

Le dénombrement des semis s'est effectué le long de transects à l'aide de placettes divisées en quatre quadrats. La méthode d'échantillonnage est une adaptation de l'échantillonnage par grappes (Anonyme, 1996). L'aire échantillonnée par l'ensemble des placettes représente environ 1 % de la surface totale. Le nombre total de placettes distribuées sur les transects dépend donc de la superficie traitée. Les transects sont orientés dans le sens de la longueur (**figure 1**). Ils suivent également le critère d'être distants les uns des autres de 25 m et d'être éloignés de toute route ou d'une lisière boisée d'au moins 25 m. Il est à noter que, du fait du terrain accidenté, il n'y a aucun parallélisme entre les sillons de scarifiage et les transects.

**Figure 1** Dispositif expérimental



Dans cette étude, les placettes ont une aire de 4 m<sup>2</sup> et sont espacées de 10 m le long des transects. La placette est formée de quatre quadrats de 1 m<sup>2</sup>. Le quadrat A est situé en haut à droite, les B C et D se succédant dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. D'un point de vue géographique, l'orientation du quadrat A diffère suivant les sites mais celle-ci ne diffère pas dans un même site.

## ÉCHANTILLONNAGE ET MESURES

L'échantillonnage des semis s'est effectué de juillet 2004 à septembre 2004, soit cinq années après le scarifiage pour les sites I à IV et trois ans après pour les sites V et VI. Tous les semis présents dans le quadrat A de la placette ont été récoltés.

Le quadrat A, avec les substrats le composant, est schématisé sur papier le plus fidèlement possible. Les semis récoltés sont ensuite localisés sur ce schéma.

Pour tous les quadrats, un arbre semencier est localisé suivant la Méthode du quadrat centré sur le point (Barbour et al, 1987). Tout arbre portant au moins un cône à son sommet est considéré comme semencier. L'espèce du semencier, sa distance en mètres par rapport au point central de la placette, sa hauteur ainsi que son diamètre à hauteur de poitrine (dhp) sont déterminés. Lorsque l'arbre semencier le plus proche est situé à plus de 50 m ou lorsqu'il se situe de l'autre côté d'un chemin forestier, le quadrat est noté sans semencier.

De retour au laboratoire, l'importance de la zone scarifiée dans chaque quadrat A est mesurée à l'aide d'un planimètre numérique, à partir du schéma effectué sur le terrain. Les âges des semis récoltés sont déterminés en comptant les cicatrices de croissance, ou cicatrices de bourgeon terminal, présentes le long de la tige (Fantin et Morin, 2002). Dans certains cas, l'analyse des cernes de croissance par coupe de la tige (Schweingruber, 1989 ; Baillie, 1995 ; Fantin et Morin, 2002) a été réalisée.

## ANALYSES STATISTIQUES ET TRAITEMENT DES DONNÉES

La densité en arbres semenciers est calculée selon la méthode centrée sur le point de Barbour (1987). En suivant cette méthode, seules les placettes ayant quatre semenciers ont été prises en compte. Ainsi, il y a environ 2 % des placettes échantillonnées qui ont été écartées. A partir de ces mêmes placettes sélectionnées, la surface terrière des semenciers est calculée. La hauteur et le dhp moyens des semenciers ainsi que leur proportion par espèces sont également déterminés.

Les proportions de semis installés dans le sillon ou hors du sillon de scarifiage, ainsi que la proportion de surface scarifiée dans les six sites, sont étudiées à l'aide d'une analyse de contingence (Legendre et Legendre, 1998). L'analyse se poursuit par les tests de Pearson et du khi-deux.

La durée d'installation des semis sur les sites après la perturbation est étudiée en analysant les quantités de semis dans chaque classe d'âge. L'homogénéité du nombre de semis récoltés dans chaque classe d'âge entre les différents sites est vérifiée soit par un test de comparaisons multiples (ou test de contraste, comparaison de plusieurs sites) (Scherrer, 1984 ; Legendre et Legendre, 1998) soit par une analyse du test du khi-deux (comparaison des sites deux à deux).

La densité des semis totaux ainsi que celle des semis d'épinettes noires (EPN) sont calculées. Les proportions de chaque espèce sont également déterminées. La corrélation entre la densité en semis (variable dépendante), la hauteur, le dhp et la distance des semenciers ainsi que la surface scarifiée (quatre variables indépendantes), est examinée par régressions multiples pas à pas (*stepwise linear multiple regression*) (Kirk, 1982 ; Tabachnick et Fidell, 2001) de la forme :  $Y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n$  où Y est la variable dépendante, a est l'ordonnée à l'origine (*intercept*),  $b_1$  à  $b_n$  sont les coefficients partiels de régression et  $x_1$  à  $x_n$  sont les variables indépendantes (Steel et al, 1996). La probabilité d'entrée d'une variable indépendante est de 0,250 tandis que la probabilité de sortie est de 0,100. Sur toutes les variables étudiées, deux ont été transformées. La densité des semis ( $D_{\text{semis}}$ ) a été transformée en  $\text{Log}_{10}(D_{\text{semis}}+1)$  tandis que la surface scarifiée a subi une transformation angulaire selon la formule :  $X' = \arcsin(\sqrt{X}) \cdot 180/\pi$  où X représente la surface scarifiée non transformée (Sokal et Rohlf, 1981 ; Kirk, 1982). Ainsi, on obtient une meilleure homogénéité entre les résidus des variables. Une seule valeur extrême a été retirée. Plusieurs modèles ont été étudiés pour ne retenir que le plus performant. Le choix du modèle se base sur l'analyse du  $R^2$ , du critère d'information d'Akaike (AIC) ainsi que du critère de Mallows ( $C_p$ ) selon le nombre de paramètres de l'équation (p). Un bon modèle présente un  $R^2$  le plus fort possible, un AIC le plus petit possible et le  $C_p$  doit se rapprocher au maximum du p. Le modèle retenu dans cette étude n'inclut que trois variables indépendantes, la distance et le dhp des semenciers ainsi que la surface scarifiée.

L'analyse des hauteurs et des diamètres des semis ne s'effectue que sur les semis âgés de 0 à 5 ans. Dans cette étude, seuls les semis d'épinette noire (EPN) sont pris en compte car les autres espèces ne sont pas assez représentatives. L'homoscédasticité et la normalité des résidus des hauteurs et des diamètres sont vérifiées graphiquement par une analyse de co-variance. L'analyse de co-variance se poursuit ensuite par une transformation logarithmique des hauteurs moyennes et des diamètres moyens.

Toutes les moyennes calculées sont suivies de l'erreur standard (moyenne  $\pm$  erreur standard). L'ensemble des données est analysé à l'aide du logiciel statistique SAS Institute Inc, Cary, NC, 2003, JMP IN 5.1.



## CHAPITRE 3

## RÉSULTATS

Toutes les caractéristiques reliées aux semenciers des sites étudiés sont résumées par le **tableau 3**. Les six sites présentent des densités très faibles en semenciers, la densité minimale étant sur le site II (112 tiges.ha<sup>-1</sup> ; **tableau 3**) et la densité la plus élevée étant sur le site III (363 tiges.ha<sup>-1</sup> ; **tableau 3**).

**Tableau 3** Description des semenciers dans les différents sites.

	SITES					
	I	II	III	IV	V	VI
Densité (tiges.ha <sup>-1</sup> )	151	112	363	360	213	156
Surface terrière (m <sup>2</sup> .ha <sup>-1</sup> )	1,75	1,11	2,33	2,23	2,45	2,52
Hauteur moyenne (m)	8,03 (0,14)	6,67 (0,15)	5,80 (0,14)	5,38 (0,15)	7,04 (0,14)	7,46 (0,15)
Dhp moyen (cm)	11,01 (0,22)	10,02 (0,24)	7,99 (0,20)	7,55 (0,21)	10,79 (0,24)	12,52 (0,29)
Proportion des espèces (%)						
EPN	97,3	99,0	100	99,8	56,6	75,7
MEL	.	.	.	.	.	0,5
PIG	2,7	1,0	.	0,2	43,4	23,8
SAB	.	.	.	.	.	.

Note : les quatre espèces de semenciers étudiés sont l'épinette noire (EPN) *Picea mariana* (Mill) BSP, le mélèze laricin (MEL) *Larix laricina* (Du Roi) K Koch, le pin gris (PIG) *Pinus banksiana* Lamb et le sapin baumier (SAB) *Abies balsamea* (L) Mill. Seules les placettes ayant quatre semenciers sont prises en compte. Les moyennes sont suivies de l'erreur standard. Le dhp est le diamètre à hauteur de poitrine.

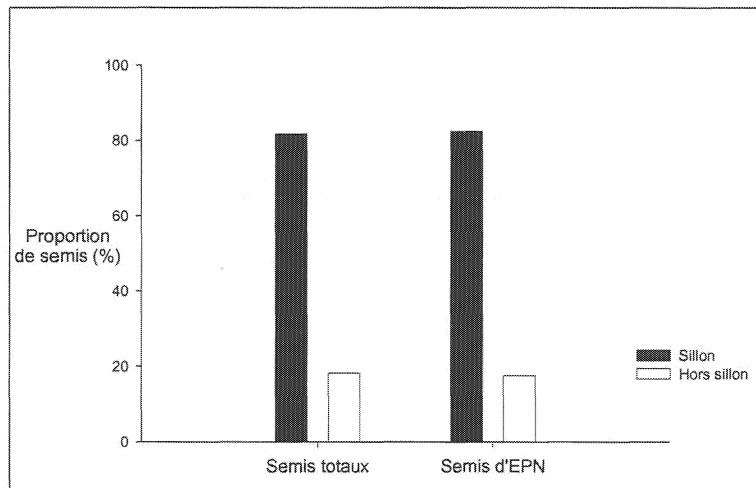
La proportion de semis installés dans le sillon de scarifiage ou hors du sillon, ainsi que l'importance de la surface scarifiée sont comparables d'un site à l'autre (**tableau 4**). Les six sites ont donc été étudiés dans un même ensemble.

**Tableau 4** Proportions (%) de semis totaux et de semis d'épinettes noires (EPN) installés dans le sillon ou hors du sillon et proportion de surface scarifiée dans chaque site.

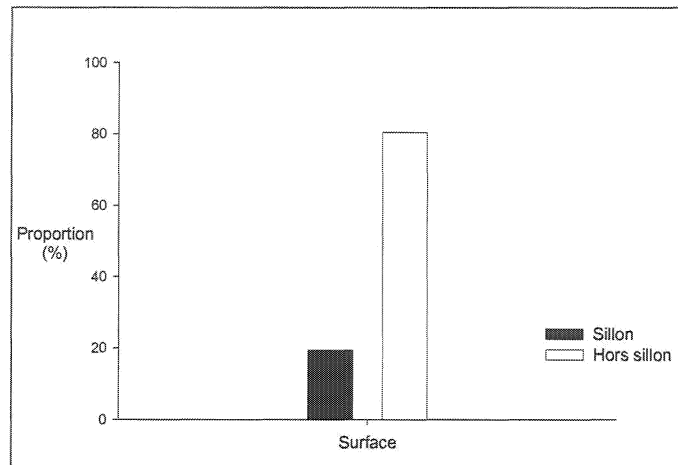
		SITES					
		I	II	III	IV	V	VI
Proportion en semis totaux	Sillon	75,48	87,30	73,68	85,19	86,46	80,97
	Hors sillon	24,52	12,70	26,32	14,81	13,54	19,03
Proportion en semis d'EPN	Sillon	75,00	87,70	77,78	88,78	85,94	80,81
	Hors sillon	25,00	12,30	22,22	11,22	14,06	19,19
Surface scarifiée	Sillon	17,00	17,00	16,00	13,00	23,00	29,00
	Hors sillon	83,00	83,00	84,00	87,00	77,00	71,00

Les semis d'épinettes noires (EPN), qui représentent plus de 90 % des semis récoltés (**tableau 7**), sont installés à plus de 80 % dans les sillons de scarifiage (**figure 2**) alors que ceux-ci ne représentent que 20 % environ de la surface échantillonnée (**figure 3**).

**Figure 2** Analyse graphique de la répartition des semis totaux (toutes les espèces) et des semis d'épinette noire (EPN) dans les six sites d'échantillonnage.



**Figure 3** Analyse graphique de la présence des sillons dans les six sites d'échantillonnage.



Il y a donc une différence significative entre la proportion de semis d'EPN installés dans le sillon et celle des semis installés hors du sillon ( $P < 0,0001$  ; **tableau 5**). Par contre, aucune différence significative dans la réalisation du scarifiage sur les six sites n'a été relevée ( $P = 0,0535$  ; **tableau 5**), les six sites ont donc été scarifiés de façon comparable.

**Tableau 5** Analyse par test de Pearson de l'installation préférentielle des semis et de la proportion de scarifiage sur la zone échantillonnée sans distinction des sites.

<i>sources</i>	<i>Khi-deux</i>	<i>d.l.</i>	<i>P</i>
semis: sillon vs hors sillon	30,62	5	<b>&lt; 0,0001</b>
semis EPN: sillon vs hors sillon	28,72	5	<b>&lt; 0,0001</b>
surface scarifiée vs surface non scarifiée	10,90	5	0,0535
installation semis EPN vs scarifiage	226,11	1	<b>&lt; 0,0001</b>

Note : les tests significatifs sont notés en gras ( $P < 0,05$ ). Semis, semis totaux; semis EPN, semis d'épinettes noires; vs, *versus*.

Les résultats de l'analyse du regroupement des sites d'échantillonnage en fonction de l'installation des semis après perturbation sont donnés par le **tableau 6**.

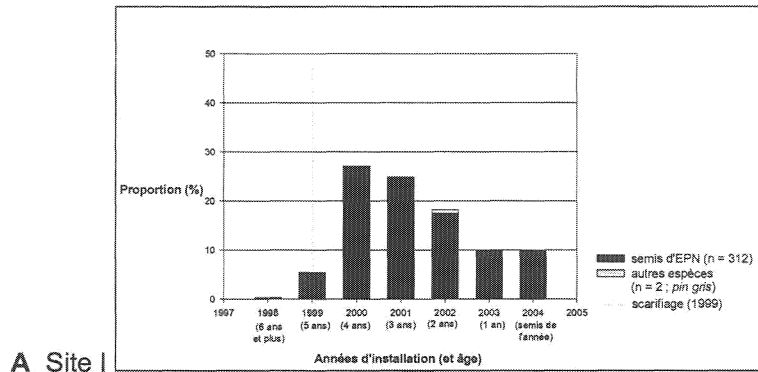
**Tableau 6** Analyse des khi-deux des fréquences de semis par classes d'âge entre les sites I, II, III, IV, V et VI.

Sources		Khi-deux	dl	P
Sites I à IV, scarifiés en 1999	I / II / III / IV	215,59	18	< 0,0001
	(I II) / (III IV)	<b>187,33</b>	6	< 0,0001
	I / II	<b>27,36</b>	6	<b>0,0001</b>
	III / IV	10,99	6	0,0888
	(III IV) / I	<b>125,30</b>	6	< 0,0001
Sites V et VI, scarifiés en 2001	V / VI	6,75	4	0,1499

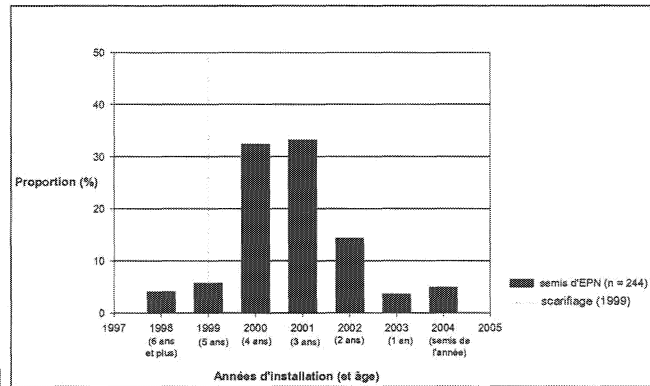
Notes : La barre oblique "/" signifie *versus* et les sites entre parenthèses (I II) sont des sites étudiés dans un même ensemble. Pour les comparaisons deux à deux, la valeur limite du khi-deux table des sites I à IV est 16,81 et pour les sites V et VI, elle est de 9,49. Les tests significatifs sont notés en gras ( $P < 0,05$ ).

Les sites I et II sont significativement différents ( $P < 0,0001$  ; **tableau 6**), et ont donc été étudiés séparément (**figure 4 A-B**). Les sites III et IV ne montrent pas de différence significative ( $P = 0,0888$  ; **tableau 6**), ils ont alors été assemblés (**figure 4 C**). De même, les deux sites V et VI ont été étudiés ensemble (**figure 4 D**) car le test s'est révélé non significatif ( $P = 0,1499$  ; **tableau 6**). Dans les sites I, V et VI, la proportion de semis installés avant le passage du scarificateur, c'est-à-dire âgés de six ans et plus, est inférieure à 1 % (**figure 4 A-D**). Les trois autres sites présentent des taux supérieurs de semis âgés de six ans et plus : 4,1 % pour le site II (**figure 4 B**) et 5,9 % dans les sites III et IV (**figure 4 C**). Les sites I, II, V et VI ont un schéma d'installation comparable (**figure 4 A-B-D**). On observe en effet un établissement maximal de semis les deux années consécutives au passage du scarificateur (plus de 50 % des semis), puis l'établissement des semis diminue progressivement. Les sites III et IV (**figure 4 C**) ont un schéma d'installation différent des autres secteurs. L'établissement maximal en semis s'effectue en effet la deuxième année après le passage du scarificateur (soit en 2001) et cet établissement se maintient jusqu'en 2004. Dans ce secteur, l'année 2004 est également caractérisée par une très forte installation de semis de sapin baumier : environ 10 % des semis installés cette année-là sont des semis de sapin baumier (**figure 4 C**). Les sites I et II (**figure 4 A-B**), situés dans le secteur Mistassibi, présentent un établissement en semis non négligeable l'année du scarifiage (5,5 % environ) contrairement aux quatre autres sites, III, IV, V et VI.

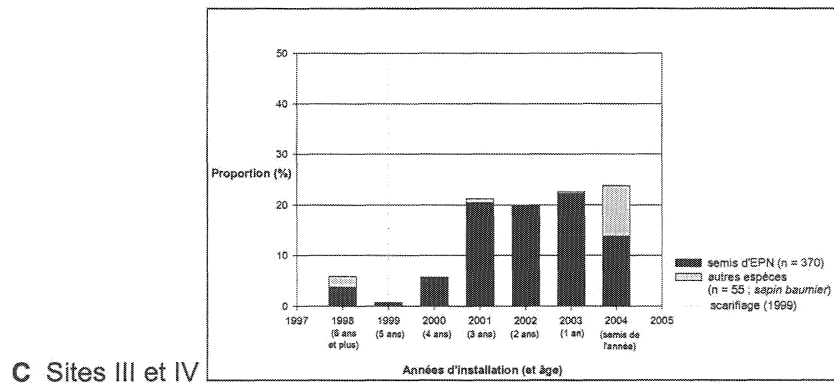
**Figure 4** Proportion de semis par classes d'âge dans les sites.



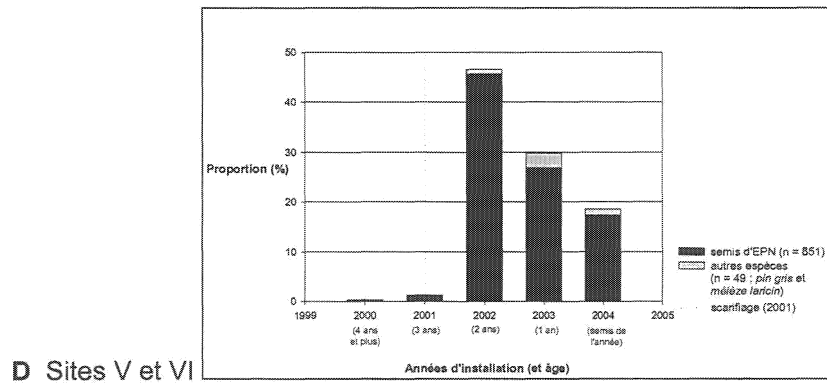
**A Site I**



**B Site II**



**C Sites III et IV**



**D Sites V et VI**

La densité en semis d'épinette noire maximale est obtenue sur le site VI (3,0 semis.m<sup>-2</sup>, **tableau 7**) tandis que la densité minimale se situe sur le site III (1,5 semis.m<sup>-2</sup>). La densité moyenne est d'environ 2,16 ± 0,25 semis.m<sup>-2</sup>. Le coefficient de distribution des semis dans chaque site est d'environ 88 % ± 2 (**tableau 8**).

**Tableau 7** Densité en semis (semis.m<sup>-2</sup>) dans les différents sites et proportion par espèces.

	SITES						moyennes
	I	II	III	IV	V	VI	
Semis totaux	2,2	2,0	1,8	1,7	3,1	3,2	2,32 (0,27)
Semis d'EPN	2,1	2,0	1,5	1,6	2,8	3,0	2,16 (0,25)
Proportion (%)							
EPN	99,4	100	84,2	89,8	89,8	93,7	93,1
MEL	.	.	.	.	.	0,4	0,1
PIG	0,6	.	.	.	8,1	2,4	2,6
SAB	.	.	15,8	10,2	.	.	2,9
non identifié	.	.	.	.	2,1	3,5	1,4

Note : l'analyse porte seulement sur les semis des quadrats A. Semis totaux, semis de toutes les espèces; EPN, épinette noire (*Picea mariana* (Mill) BSP); MEL, mélèze laricin (*Larix laricina* (Du Roi) K Koch); PIG, pin gris (*Pinus banksiana* Lamb); SAB, sapin baumier (*Abies balsamea* (L) Mill).

**Tableau 8** Coefficient de distribution (CD) des semis (totaux) sur les sites étudiés.

	Sites						moyenne	Erreur type
	I	II	III	IV	V	VI		
CD (%)	86	81	86	90	93	93	88	2

Les deux variables indépendantes hauteur (m) et dhp (cm) des semenciers sont fortement corrélées entre elles (**tableau 9**).

**Tableau 9** Tableau de corrélation entre les variables

<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>	<i>Corrélation</i>	<i>Nombre</i>	<i>P</i>
distance	densité semis	-0,0172	789	0,6289
dhp	densité semis	0,0315	781	0,3788
dhp	distance	0,1454	779	<b>0,0000</b>
hauteur	densité semis	-0,0151	781	0,6733
hauteur	distance	0,1397	779	<b>0,0001</b>
hauteur	dhp	0,8328	773	<b>0,0000</b>
surface scarifiée	densité semis	0,4994	802	<b>0,0000</b>
surface scarifiée	distance	0,1051	789	<b>0,0031</b>
surface scarifiée	dhp	0,01	781	0,7793
surface scarifiée	hauteur	-0,0305	781	0,3944

Note : les tests en gras sont significatifs ( $p < 0,05$ ). Le dhp est le diamètre à hauteur de poitrine en cm; la distance et la hauteur sont en m; la surface scarifiée est en % et la densité en semis est en semis.m<sup>-2</sup>.

La variable indépendante la plus significativement responsable de la densité en semis est donnée par le **tableau 10** et se révèle être la surface scarifiée (transformation angulaire). Ainsi, d'après le **tableau 11** et la formule générale, l'équation donnant la densité des semis sur les sites est la suivante :

$$D_{\text{semis}} = 0,1255 + 0,0116 * (\text{surface scarifiée (en \%)} \text{ transformée}) \\ + (- 0,0075) * (\text{distance (m)} \text{ du semencier}) \\ + 0,0031 * (\text{dhp (cm)} \text{ du semencier})$$

**Tableau 10** Analyse par régressions multiples pas à pas (*stepwise linear multiple regression*) de la corrélation entre la densité en semis transformée ( $\text{Log}_{10}(D_{\text{semis}}+1)$ ) et les trois variables indépendantes : la surface scarifiée, la distance et le dhp des semenciers.

<i>Pas</i>	<i>Variables indépendantes</i>	<i>Action</i>	<i>P</i>	<i>SC par pas</i>	<i>R<sup>2</sup></i>	<i>Cp</i>	<i>p</i>
<b>1</b>	<b>surface scarifiée transformée</b>	Entrée	0,0000	43,6712	0,4113	7,5270	2
2	distance	Entrée	0,0275	0,3908	0,4150	4,6395	3
3	dhp	Entrée	0,1046	0,2111	0,4170	4,0000	4

Note : la variable indépendante surface scarifiée est modifiée par transformation angulaire selon la formule :  $X' = \arcsin(\sqrt{X}) \cdot 180/\pi$  où X est la variable à analyser (Sokal et Rohlf, 1981). La surface scarifiée est la proportion du sillon dans chaque quadrat A; la distance est l'éloignement en m du semencier par rapport au point central de la placette; le dhp est le diamètre à hauteur de poitrine en cm du semencier. SC est la somme des carrés; Cp est le critère de Mallows; p est le nombre de paramètres de l'équation incluant l'ordonnée à l'origine. La variable indépendante noté en gras est la variable expliquant la densité en semis.



**Tableau 11** Valeur des coefficients de l'analyse par régressions multiples expliquant la densité en semis sur les six sites d'échantillonnage.

Coefficient	Valeur estimée	Erreur type	Rapport t	Prob> t
ordonnée à l'origine	0,125455	0,025385	4,94	<b>&lt; 0,0001</b>
surface scarifiée transformée	0,011578	0,000493	23,49	<b>&lt; 0,0001</b>
distance	-0,007501	0,003095	-2,42	<b>0,0156</b>
dhp	0,003057	0,001881	1,62	0,1046

Note : la surface scarifiée a été modifiée par transformation angulaire selon la formule :  $X' = \arcsin(\sqrt{X}) \cdot 180/\pi$  où X est la variable à analyser (Sokal et Rohlf, 1981). Les tests notés en gras sont significatifs ( $P < 0,05$ ). La distance est en m tandis que le diamètre à hauteur de poitrine (dhp) est en cm.

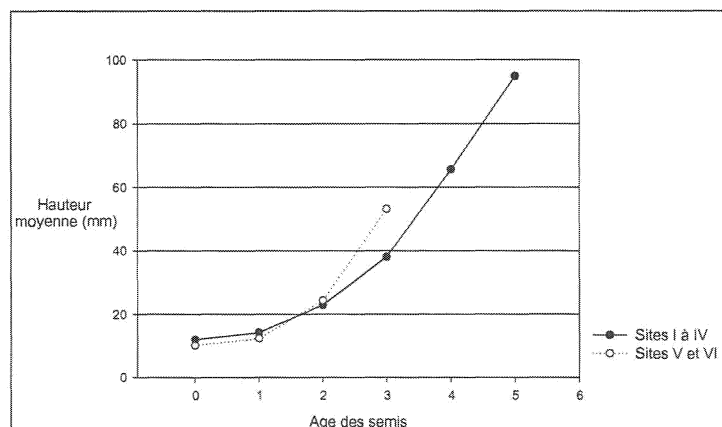
Selon l'analyse de co-variance, il n'y a pas de différence significative entre les hauteurs des semis d'EPN selon leur classe d'âge, entre les sites ( $P = 0,9149$  ; **tableau 12**). Cependant, les sites V et VI ont été distingués car le scarifiage s'étant effectué deux ans plus tard, ils ne présentent pas le même nombre de classes d'âge (**figure 5**).

**Tableau 12** Analyse de la corrélation entre les hauteurs et diamètres (transformation logarithmique) des semis d'épinette noire âgés de 0 à 5 ans entre les sites et suivant leur âge.

source	df	Log hauteur		Log diamètre	
		F Ratio	P	F Ratio	P
site	5	0,29	0,9149	11,88	<b>&lt; 0,0001</b>
âge	1	420,65	<b>&lt; 0,0001</b>	714,62	<b>&lt; 0,0001</b>
site*âge	5	2,18	0,0975	4,53	<b>0,0064</b>
error	20	0,03343*		0,02246*	

Note : les tests significatifs sont notés en gras ( $P < 0,05$ ). Les valeurs suivies du signe \* sont les erreurs résiduelles. La hauteur des semis est en cm et le diamètre en mm.

**Figure 5** Étude des hauteurs des semis d'épinette noire âgés de 0 à 5 ans.



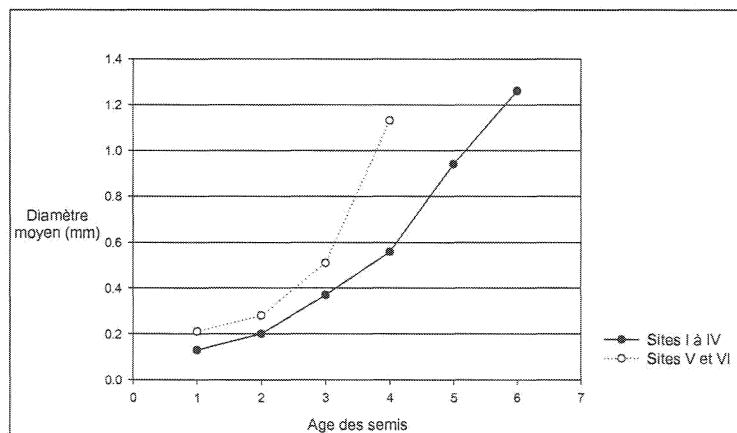
Le diamètre des semis d'EPN, étudié par classe d'âge, s'est révélé quant à lui significativement différent entre les sites ( $P < 0,0001$  ; **tableau 12**). Les sites semblables ont alors été regroupés à l'aide d'un test de Tukey HSD (**tableau 13**) et on obtient ainsi le regroupement des sites I à IV et le regroupement des sites V et VI (**figure 6**). D'une manière générale, plus les semis sont âgés, plus leur hauteur et leur diamètre augmentent. Les semis récoltés sur les sites V et VI présentent le meilleur développement en croissance (en hauteur comme en diamètre), surtout à partir de deux ans.

**Tableau 13** Test de Tukey HSD pour comparer les moyennes du diamètre des semis d'épinette noire âgés de 0 à 5 ans entre les sites.

Sites	Diamètre(mm)
V A	0,741
VI A B	0,590
IV B C	0,458
III C	0,388
I C	0,383
II C	0,379

Note : les sites n'ayant pas la même lettre sont significativement différents. Alpha = 0,050

**Figure 6** Étude du diamètre des semis d'épinette noire âgés de 0 à 5 ans.



## **CHAPITRE 4**

### **DISCUSSION**

Les résultats de ce travail permettent la validation de l'hypothèse de départ, à savoir que les semis s'installent préférentiellement dans les sillons de scarifiage. Le passage du scarificateur permet la formation de sillons dans le sol, exposant ainsi la couche minérale. Or, selon plusieurs auteurs (Lutz, 1956 ; Fillion et Morin, 1996 ; Fleming et Mossa, 1994 ; Lavoie, 1994 ; Prévost, 1997 ; Pothier, 2000), le sol minéral est le substrat de germination optimal pour les semences d'épinette noire. Le scarifiage créé donc des lits de germination adéquats pour les graines d'épinette noire issues des cônes matures des semenciers environnants. De plus, selon Stathers et Spittlehouse (1990) et Thiffault et al (2003b et 2004), le scarifiage améliore les propriétés du sol qui devient alors plus favorable à l'établissement des semis.

Dans les sites I et II (secteur Mistassibi) ainsi que les sites V et VI (secteur Broadback), l'installation des semis sur les sites après perturbation se fait majoritairement la première année qui suit le scarifiage et se maintient durant au moins deux ans. A partir de la troisième année, l'installation diminue. Cette baisse dans l'installation des semis pourrait être due à la végétation compétitive qui recolonise le sillon. Cette hypothèse est appuyée par certains auteurs (St Pierre et al, 1992 ; Prévost, 1997 ; Thiffault et al, 2003b, 2004 ; Côté, 2004) ainsi que par des observations sur le terrain de sillons fermés.

Le secteur Péribonka (sites III et IV) se distingue des autres sites car contrairement à ces derniers, les semis s'installent la deuxième année après le scarifiage et de manière massive et continue sur quatre ans. Par ailleurs, le sol de ces deux sites est faiblement recouvert de lichens (Girard, 2004). Cette dernière caractéristique pourrait expliquer le taux de régénération naturelle élevée dans les sites avant le scarifiage, c'est-à-dire le taux élevé de semis âgés de six ans et plus (près de 6 %). Ces deux sites ont également été scarifiés plus tardivement dans la saison, ce qui pourrait expliquer la faible installation en semis l'année du scarifiage.

D'après les différentes densités en semis des sites étudiés, tous les mètres environ, il y a au minimum un semis. Cette densité est d'autant plus encourageante qu'elle prend en compte les semis de cinq ans (donc bien établis) et les semis de l'année (classe d'âge où le pourcentage de perte est élevé d'après Black et Bliss (1980)

et Fleming et Mossa (1994) mais où le nombre de semis est moins important). Le taux de mortalité des semis récoltés est donc relativement faible et on peut alors considérer qu'ils sont bien installés sur les sites. De plus, le coefficient de distribution élevé des semis pour chacun des sites signifie qu'il y a une distribution régulière des semis sur les sites. La mortalité causée par une forte densité devrait donc être minime et ne modifier que légèrement la distribution de la régénération. Ainsi, malgré des densités faibles en semenciers, on obtient une densité moyenne en semis très élevée (environ 20 000 semis.ha<sup>-1</sup>). En effet, dans le cadre du reboisement de zones ouvertes, la plantation s'effectue à une densité d'environ 2 000 à 2 500 tiges.ha<sup>-1</sup>, espérant ainsi obtenir, quelques années plus tard, un peuplement d'une densité d'environ 1 000 à 1 500 tiges.ha<sup>-1</sup>.

Dans les six sites étudiés, plus de la moitié des semenciers était localisée dans un rayon de 10 m environ autour du point central de la placette. Or, d'après la littérature (Zasada, 1971 ; St Pierre et al, 1992 ; Filion et Morin, 1996 ; Lavoie, 1994 ; Pothier, 2000), la majorité des graines des semenciers se disperse sur une distance d'environ deux à trois fois la hauteur du semencier. L'éloignement des semenciers par rapport au sillon joue donc un rôle important sur la dissémination en semis. Cependant, dans la présente étude, on ne peut pas juger de l'effet de l'éloignement des semenciers. En effet, sur aucun des sites la régénération ne semble être limitée par la densité en adultes, même à la densité la plus faible de 112 tiges.ha<sup>-1</sup> (site II). De plus, cette densité en adultes pourrait être biaisée par un phénomène d'autocorrélation car un même semencier pouvait être attribué à deux placettes. La densité en adultes risque donc d'être légèrement surestimée. On constate cependant que les sites proches géographiquement ont des densités en semenciers comparables.

Une abondance de lits de germination, et donc un scarifiage efficace, pourrait également amener à une densité élevée en semis. On pourrait définir un scarifiage efficace, comme étant un scarifiage homogène de la zone, particulièrement concentré sur un rayon de 5 à 10 mètres environ autour des semenciers et exposant le sol minéral. D'autres part, un établissement important en semis sur un site pourrait être attribué soit à des conditions climatiques particulièrement favorables soit à une production

particulièrement intense de graines par les semenciers. Pour ces deux hypothèses aucune information n'est disponible.

Des semis de sapin baumier ont été récoltés seulement dans les sites III et IV alors qu'aucun semencier de cette espèce n'a été répertorié sur les sites. Les semis récoltés étant majoritairement des semis de l'année (germés en 2004), on peut émettre l'hypothèse que l'espèce aurait connu une bonne année semencière en 2004 dans le secteur Péribonka. Les cônes de cette espèce ne s'ouvrent en effet qu'à maturité. Cette hypothèse est appuyée par le fait que des sapins baumiers semenciers étaient présents en lisière des sites.

Sur chacun des sites, les années 2000 à 2004 n'auraient pas été semencières en pin gris car proportionnellement au nombre d'adultes présents sur les sites, très peu de semis ont été ramassés. Si on parle de mauvaise saison semencière, celle-ci pourrait être due à des conditions climatiques non optimales (les cônes de pin gris sont des cônes sérotineux qui nécessitent une forte chaleur, comme la chaleur d'un feu ou d'un soleil d'été, pour activer leur ouverture et ainsi libérer les graines) ou à une absence de graines viables ou matures.

Dans cette étude, les semis de 5 ans mesurent environ 10 cm. Cette taille est comparable à la hauteur des semis de 5 ans étudiés par Ahlgren (1974) ainsi que ceux étudiés par Morin et Gagnon (1991). La première étude concerne la croissance de la régénération à la suite d'un feu en forêt boréale nordique et les semis de 5 ans mesurent environ 15 cm. La seconde étude (dans le Parc Chibougamau) traite de la croissance de la régénération après une coupe et la taille des semis âgés de 5 ans est de 10 cm environ. De même, dans l'étude de Prévost et Dumais (2003), en forêt boréale québécoise, la hauteur des semis naturels de 5 ans, sur un site scarifié après coupe, est d'environ 20 cm. Fantin et Morin (2002) observent quant à eux des hauteurs d'environ 35 cm, pour la régénération âgée de 5 ans sur un site après feu, en forêt boréale québécoise.

Les semis présentant la meilleure croissance sont situés dans la région de Broadback (sites V et VI). Selon Fleming et Mossa (1994), les semis d'épinette noire croissent mieux sur stations humides. Ceci concorde avec les résultats obtenus car malgré des précipitations faibles dans ce secteur, la pente étant peu élevée et le

drainage imparfait, les sites V et VI peuvent être assimilés à des stations humides. Les caractéristiques de stations pourraient donc être à l'origine des différents rythmes de croissance des semis observés entre les sites.

**CHAPITRE 5**  
**CONCLUSION**



Les pessières noires à lichens étudiées présentent une installation massive de semis à la suite du passage du scarificateur. Le scarifiage crée donc des sites propices à l'installation de semences d'épinette noire. Cette préparation de terrain permet en effet l'exposition du sol minéral qui se révèle être un bon substrat de germination pour les graines d'épinette noire. La technique du scarifiage peut donc être pratiquée dans des pessières noires à lichens afin d'améliorer l'ensemencement naturel des épinettes noires. Cependant, il s'agit d'une méthode à court terme car la végétation de la strate arbustive ainsi que le lichen recolonisent rapidement les sillons. Ainsi, après le scarifiage, comme après le passage d'un feu, la régénération a cinq ans environ pour s'installer et on obtient alors un peuplement à structure équiennne. Cependant, la réceptivité d'un site est un phénomène dynamique dépendant entièrement des conditions environnementales qui l'entourent. Les conditions climatiques après scarifiage contribuent donc entièrement au succès de régénération des sites par ensemencement naturel (Prévost, 1996). Par ailleurs, plusieurs conditions devraient être prises en compte afin d'optimiser l'effet du scarifiage. Le premier critère serait un nombre suffisant en semenciers sur le site. Dans ce travail la densité minimale étudiée était d'environ  $110 \text{ tiges.ha}^{-1}$  mais l'effet de densités inférieures en semenciers serait encore à évaluer. Le second critère concernerait le scarifiage. Celui-ci devrait être homogène et recouvrir la zone de manière efficace avec un soin particulier apporté à proximité des semenciers. Le but du scarifiage étant l'exposition de la couche minérale, un scarifiage simple devrait être suffisant. La qualité de l'ensemencement naturel est également relié à la production en graines par les semenciers et donc aux pluies de graines ainsi qu'aux conditions climatiques. Ces deux derniers critères sont indépendants de toute intervention humaine et leurs cycles sont encore à étudier.

## CHAPITRE 6

## RÉFÉRENCES

- Ahlgren, CE. 1974. Effects of fires on temperate forests : North Central United States. Dans Kozlowski, T.T. Fire and Ecosystems. Editor Academic Press. New York. Chap. 6pp. 195-223.
- Ahlgren, IF, et Ahlgren, CE. 1960. Ecological effects of forest fires. Botanical Review. **26**: 483-533.
- Anonyme. 1996. Manuel de foresterie, Les Presses de l'université Laval, Ordre des Ingénieurs forestiers du Québec.
- Anonyme. 2002. Normes d'inventaire forestier ; placettes échantillons temporaires ; peuplements de 7 m et plus de hauteur. Annexe I. Direction des inventaires forestiers, Forêt Québec, Ministère des ressources naturelles.
- 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.
- Baillie, M. 1995. A slice through time – dendrochronology and precision dating. BT Batsford Ltd, London. 176 p.
- Barbour, M, Burk, J, et Pitts, W. 1987. Terrestrial Plant Ecology, second edition. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc.
- Black, R, et Bliss, L. 1980. Reproductive ecology of *Picea mariana* (Mill.) BSP., at tree line near Inuvik, Northwest Territories, Canada. Ecological monographs. **50** (3): 331-354.
- Côté, D. 2004. Mise en place d'une pessière à cladonie dans le domaine des forêts fermées d'épinette noire (*Picea mariana*) et potentiel pour la production forestière. Mémoire de maîtrise. UQAC. 96 p.
- Fantin, N, et Morin, H. 2002. Croissance juvénile comparée de deux générations successives de semis d'épinette noire issus de graines après feu en forêt boréale, Québec. Can. J. For. Res. **32**: 1478-1490.

- Filion, J, et Morin, H. 1996. Distribution spatiale de la régénération de l'épinette noire 8 ans après un feu en forêt boréale (Québec). *Can. J. For. Res.* **26**: 601-610.
- Fleming, RL, et Mossa, DS. 1994. Direct seeding of *Black spruce* in northwestern Ontario : seedbed relationships. *The Forestry chronicle*. Volume 70, n°2.
- Gagnon, R. 1998. Les bases écologiques de fonctionnement des forêts commerciales d'épinette noire du Saguenay – Lac-Saint-Jean – Chibougamau – Chapais (Québec) : vers un aménagement forestier durable. UQAC. 27 p.
- Gagnon, R, et Morin, H. 2001. Les forêts d'épinette noire du Québec : dynamique, perturbations et biodiversité. *Le Naturaliste Canadien*. **125-3**: 26-35.
- Girard, F. 2004. 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. Mémoire de maîtrise. UQAC. 56 p.
- Hébert, F. 2004. Croissance et fonctions hydriques de plants d'épinette noire (*Picea Mariana* (Mill) BSP.) et de pin gris (*Pinus banksiana* LAMB) trois ans après plantation dans des pessières noires à lichens de la forêt boréale commerciale. Mémoire de maîtrise. UQAC. 53 p.
- Kirk, R. 1982. *Experimental design : Procedures for the behavioral sciences*, second edition. Brooks/Cole publishing company.
- Karlsson, M, Nilsson, U, et Örlander, G. 2002. Natural regeneration in clear-cuts : effects of scarification, slash removal and clear-cut age. *Scandinavian Journal of Forest Research*, ISSN 0282-7581.
- Lavoie, L. 1994. Évaluation régionale de la stabilité des forêts dans le haut-boréal au Québec nordique. Mémoire de maîtrise. Université Laval. 73 p.
- Legendre, P, et Legendre, L. 1998. *Numerical Ecology*, second english edition.
- Lutz, HJ. 1956. Ecological effects of forest fires in the interior of alaska. US Department of Agriculture, Technical Bulletin. N°1133.

- Morin, H, et Gagnon, R. 1991. Structure et croissance de peuplements d'épinette noire issus de régénération préétablie, une quarantaine d'années après la coupe au lac Saint-Jean. For. Chron. Vol. n°3: 275-283.
- Morneau, C, et Payette, S. 1989. Postfire lichen-spruce woodland recovery at the limit of the boreal forest in northern Quebec. Can. J. Bot. **67**: 2770-2782.
- 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. Can. J. For. Res. **30**: 288-305.
- Pothier, D. 2000. Ten-year results of strip clear-cutting in Quebec black spruce stands. C. J. For. Res. **30**: 59-66.
- Prévost, M. 1996. Effets du scarifiage sur les propriétés du sol et l'ensemencement naturel dans une pessière noire à mousses de la forêt boréale québécoise. Can. J. For. Res. **26**: 72-86.
- Prévost, M. 1997. Effects of scarification on seedbed coverage and natural regeneration after a group seed-tree cutting in a black spruce (*Picea mariana*) stand. Forest Ecology and Management. **94**: 219-231.
- Prévost, M, et Dumais, D. 2003. Croissance et statut nutritif de marcottes, de semis naturels et de plants d'épinette noire à la suite du scarifiage : résultats de 10 ans. Can. J. For. Res. **33**: 2097-2107.
- Riverin, S. 1994. Dynamique d'installation de la régénération dans une pessière ouverte à cladonie localisée dans la zone de la pessière noire fermée, nord du Saguenay – Lac - Saint - Jean. Mémoire de maîtrise. UQAC. 66 p.
- 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). Can. J. For. Res. **26**: 1504-1509.
- Robitaille, A, et Saucier, JP. 1998. Paysages régionaux du Québec méridional. Les publications du québec. Gouvernement du Québec. 213 p.

- Saint Pierre, H, Gagnon, R, et Bellefleur, P. 1992. Régénération après feu de l'épinette noire (*Picea mariana*) et du pin gris (*Pinus banksiana*) dans la forêt boréale, Québec. Can. J. For. Res. **22**: 474-481.
- Saucier, JP. 1994. Le point d'observation écologique – Normes Techniques. Gouvernement du Québec, Ministère des Ressources Naturelles, Direction de la gestion des stocks forestiers, Service des inventaires forestiers. 116 p.
- Saucier, JP, Bergeron, JF, Grondin, P, et Robitaille, A. 1998. Les régions écologiques du Québec Méridional, 3<sup>e</sup> version. L'Aubelle, février-mars (124) supplément.
- Scherrer, B. 1984. Biostatistique. Gaëtan morin éditeur, Chicoutimi, Québec. 850 p.
- Schweingruber, FH. 1989. Tree Rings - Basics and Applications of dendrochronology. Kluwer Academic Publishers. 276 p.
- Sokal, R, et Rohlf, J. 1981. Biometry. The principles and practice of statistics in biological research. Second edition. W. H. Freeman and Co. New York. 859 p.
- Stathers, RJ, et Spittlehouse, DL. 1990. Forest Soil Temperature Manual. Economic and Regional development agreement, Canada, BC. 31 p.
- Steel, RGD, Torrie, JH, et Dickey, DA. 1996. Principles and procedures of statistics : a biometrical approach. 3<sup>e</sup> edition. McGraw-Hill. 666 p.
- Tabachnick, B, et Fidell, L. 2001. Using Multivariate Statistics. Fourth edition. p. 111-139.
- Thiffault, N, Jobidon, R, et Munson, A. 2003a. Performance and physiology of large containerized and bare-root spruce seedlings in relation to scarification and competition in Quebec (Canada). Ann. For. Sci. **60**: 645-655.
- Thiffault, N, Roy, V, Prigent, G, Cyr, G, Jobidon, R, et Ménétrier, J. 2003b. La sylviculture des plantations résineuses au Québec. Le Naturaliste Canadien. **127**(1): 63-80.

- Thiffault, N, Cyr, G, Prigent, G, Jobidon, R, et Charette, L. 2004. Régénération artificielle des pessières noires à éricacées : effets du scarifiage, de la fertilisation et du type de plants après 10 ans. *The Forestry Chronicle*. **80**(1): 141-149
- Viereck, LA. 1983. The effects of fire in *Black spruce* ecosystems of Alaska and Northern Canada. Institute of Northern Forestry, USDA Forest Service, Alaska, USA.
- Zasada, J. 1971. Natural regeneration of interior Alaska forests—seed, seedbed, and vegetative reproduction considerations. USDA, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station Forest Service. Proceedings – Fire in the Northern Environment. A Symposium. College (Fairbanks), Alaska. April 13-14. p. 231-246.