

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN RESSOURCES RENOUVELABLES

PAR
MARC TREMBLAY

ENSEMENCEMENT NATUREL DES PESSIÈRES À LICHENS PAR L'ÉPINETTE
NOIRE (*PICEA MARIANA* (MILL.) B.S.P.) : IMPORTANCE DE LA SOURCE DE
SEMENCES ET DE LA QUALITÉ DES LITS DE GERMINATION

OCTOBRE 2009



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

L'ouverture des peuplements denses de pessières à mousses vers des peuplements de faibles densités de pessières à lichens est un phénomène naturel et irréversible. Ces territoires occupent au moins 6% du domaine bioclimatique de la pessière noire à mousses de sorte que le potentiel économique que représente leur boisement peut s'avérer considérable, surtout avec une modalité sylvicole ne nécessitant pas de plantation.

Un dispositif en six blocs complets a été installé à l'été 2005 avec en parcelle principale 2 types de peuplements (pessières à mousse et pessière à lichens), et en sous parcelle deux niveaux de perturbation (coupé sans scarifiage et coupé avec scarifiage), afin de comparer les pessières à lichens (PL) et les pessière à mousses (PM) quant à la pluie de graines, la germination en laboratoire et l'installation des semis naturels. Des grilles de trappes à graines et de quadrats ont été installées au sol pour suivre la pluie de graines et l'installation des semis. Des comparaisons ont aussi été effectuées entre deux modalités sylvicoles en pessière à lichens, soit coupe et scarifiage et scarifiage sans coupe. Des tests de germination ont été réalisés en laboratoire sur les graines d'épinettes noires. La pluie de graines dans PM a été évaluée à 548 000 graines à l'hectare contre 381 000 graines à l'hectare dans PL l'année suivant les traitements sylvicoles et proviendrait principalement de la lisière boisée. Les graines les plus courtes ont germées dans une proportion de 7,5% alors que les graines les plus longues ont germées dans une proportion de 33,7%, peu importe que l'on soit en PM ou en PL. L'installation des semis d'épinettes noires a été 10 fois plus élevée dans PM par rapport à PL pour les superficies non perturbées au sol par la machinerie. Pour les superficies avec scarifiage, 4,1 fois plus de semis d'épinettes noires ont été dénombrés dans le sillon par rapport à l'inter-sillon, indépendamment du type de peuplement. La réceptivité du sillon de scarifiage s'est avérée 19,5 fois plus élevée dans le sillon de scarifiage par rapport à l'inter-sillon sans différence significative par rapport au peuplement (PM vs PL). Le sol minéral mis à nu et la matière organique en décomposition se sont révélés les meilleurs substrats pour l'émergence des semis d'épinettes noires dans le

sillon de scarifiage. Pour ce qui est des comparaisons entre la pessière à lichens coupée (PL) et scarifiée et la pessière à lichens scarifiée sans coupe (PL_{sc}), 7,7 fois plus de graines ont été récoltées dans PL_{sc} par rapport à PL. La modalité sans coupe ne s'est donc pas avérée limitante quant à l'ensemencement naturel.

Les résultats suggèrent un potentiel pour l'ensemencement naturel des PL de faibles densités suite à un scarifiage du sol.

REMERCIEMENTS

Ce mémoire est le fruit du travail de toute une équipe autant motivée que professionnelle. Je tiens donc à souligner la participation de Pascal Tremblay, Esteban Gonzalez, Pierre-Luc Gaudreault, Virginie Blais, Solveil Bourque, Sylvie Tremblay ainsi que tous ceux et celles qui ont participé aux différentes étapes du projet, tant sur le terrain, qu'en laboratoire. Je tiens aussi à remercier Denis Walsh pour les discussions constructives qui auront certainement données une teinte à ce document. Évidemment, je ne manquerai pas de remercier Jean-François Boucher pour sa patience et le temps qu'il a mis à me supporter dans ce projet. Enfin, je veux remercier Daniel Lord pour m'avoir permis de vivre l'aventure de la maîtrise à l'Université du Québec à Chicoutimi.

TALBE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	ii
REMERCIEMENTS.....	iv
TALBE DES MATIÈRES	v
LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
CHAPITRE 1	1
1.1 Dynamique de formation des pessières à lichens.....	3
1.2 Limitations liées à la végétation de compétition.....	5
1.2 Limitations liées à la végétation de compétition.....	5
1.3 L'importance des lits de germination.....	6
1.4 Ensemencement naturel de l'épinette noire	8
1.5 Hypothèses et objectifs	9
CHAPITRE 2.....	11
2.1 Description des sites d'étude.....	12
2.2 Dispositif expérimental et traitements	14
2.3 Mesures sur les graines	17
2.4 Mesures sur les semis.....	18
2.5 Analyses statistiques	19
CHAPITRE 3	22
3.1 Semenciers résiduels	23
3.2 Mesures sur les graines	25
3.3 Lieu d'émergence.....	29
3.4 Réceptivité du milieu	31
3.5 Substrat d'émergence	33
CHAPITRE 4.....	37
CHAPITRE 5.....	46
CHAPITRE 6.....	49

LISTE DES FIGURES

- Figure 1. Localisation des sites d'étude 13
- Figure 2. Schéma d'un bloc expérimental. Les deux types de peuplements (pessière à mousses (PM), pessière à lichens (PL) sont représentés ainsi que les combinaisons de traitements sylvicoles, sans scarifiage (S0), avec scarifiage (S1), sans coupe (sc))..... 15
- Figure 3. Distribution des fréquences relatives des semenciers résiduels après récolte sans scarifiage par classes de diamètre en centimètres (a) et classes de hauteur en mètres (b)..... 23
- Figure 4. a) Effet du type de peuplements (PL : pessière à lichens avec coupe; PM : pessière à mousses avec coupe) et b) effet du scarifiage (S0 : sans scarifiage; S1 : avec scarifiage) sur la quantité de semenciers résiduels à l'hectare (arbres portant au moins un cône) après coupe..... 25
- Figure 5. Effet du type de peuplements (PL, PM) sur le nombre de graines d'épinette noire récoltées par trappe. Les données présentées sont les moyennes détransformées ($x = y^2 - 0,5$)..... 26
- Figure 6. Effet de la classe de longueur (1 : < 1,9 mm ; 2 : >1,9 mm) sur le taux de germination des graines d'épinettes noires de la deuxième récolte. Les données présentées sont les moyennes détransformées $x = \left(\left(\sin\left(\frac{\pi}{180}\right) \right) \times y \right)^2$ 28
- Figure 7. Effet de l'interaction entre (a) le type de peuplement (PL, PM) et le niveau de perturbation (NP : non-perturbé; P : perturbé) et entre (b) le niveau de scarifiage (S0 : sans scarifiage; S1 : avec scarifiage) et le niveau de perturbation sur le nombre de semis d'épinette noire à l'hectare. 31
- Figure 8. Effet de l'interaction entre le niveau de scarifiage (S0 : sans scarifiage; S1 : avec scarifiage) et le niveau de perturbation (NP, P) sur le nombre de semis d'épinette noire à l'hectare pondéré en fonction des superficies occupées par NP et P (réceptivité). $p_{(S0)} = 0,9448$ et $p_{(S1)} < 0,0001$ 32
- Figure 9. a) Effet de l'interaction entre le niveau de scarifiage (S0, S1) et le niveau de perturbation (NP, P) sur le nombre de semis de pin gris à l'hectare. $p_{(S0)} = 0,0582$ et $p_{(S1)} = 0,2783$. b) Effet de l'interaction entre le niveau de scarifiage sur le nombre de semis de pin gris à l'hectare pondéré en fonction des superficies occupées par NP et P (réceptivité). $p_{(S0)} = 0,1954$ et $p_{(S1)} = 0,0403$ 32

- Figure 10. Effet de l'interaction entre le niveau de scarifiage (S0, S1) et le substrat d'émergence (DÉ : débris; Li : lichens; ML : matière ligneuse; MO : matière organique; Mi : minéral; MOU : mousse; SP : sphaigne) sur le nombre de semis d'épinettes noires à l'hectare pour $p < 0,0001$. Les données présentées sont les moyennes détransformées ($x = e^y - 0,5$).35
- Figure 11. Effet de l'interaction entre le niveau de scarifiage (S0, S1) et le substrat d'émergence (DÉ : débris; Li : lichens; ML : matière ligneuse; MO : matière organique; Mi : minéral; MOU : mousse; SP : sphaigne) sur le nombre de semis de pins gris à l'hectare pour $p = 0,0001$. Les données présentées sont les moyennes détransformées ($x = e^y - 0,5$).35
- Figure 12. Effet de l'interaction entre le type de peuplement (PL : coupe et scarifiage; PL_{SC} : scarifiage sans coupe) et le substrat d'émergence (DÉ : débris; Li : lichens; ML : matière ligneuse; MO : matière organique; Mi : minéral; MOU : mousse; SP : sphaigne) sur le nombre de semis d'épinettes noires à l'hectare ($p < 0,0001$). Les données présentées sont les moyennes détransformées ($x = e^y - 0,5$).36

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Disposition des grilles de trappes à graines et de suivi de semis en fonction du type de peuplement et du niveau de scarifiage	16
Tableau 2. Date d'installation des grilles de trappes à graines et dates de récoltes par sites d'étude.	18
Tableau 3. Définition des substrats d'émergence considérés lors de la prise de données	19
Tableau 6. Résumé de l'analyse de variance (p , MCE des termes d'erreurs, procédure mixte) sur la longueur des graines dans les 6 blocs pour les 2 premières récoltes (octobre 2005 et mai 2006) et les 2 peuplements (PL et PM).	27
Tableau 7. Résumé de l'analyse de variance (p , MCE des termes d'erreurs, procédure linéaire) sur le taux de germination pour les 6 blocs, les 2 peuplements et les 2 classes de longueur.	28
Tableau 8. Résumé de l'analyse de variance (valeur de p et MCE des termes d'erreurs) sur le nombre de semis d'épinette noire et de pin gris à l'hectare pour les 6 blocs, les 2 types de peuplement (PL et PM), les 2 niveaux de scarifiage (S0 et S1) et les 2 niveaux de perturbation (NP et P). Les résultats des contrastes sont présentés sous les interactions significatives.	30
Tableau 9. Résumé de l'analyse de variance (valeur de p et MCE des termes d'erreurs) sur le nombre de semis d'épinette noire et de pin gris à l'hectare pour les 6 blocs, les 2 types de peuplement (PL et PM), les 2 niveaux de scarifiage (S0 et S1) et les 7 substrats d'émergence. Les résultats des contrastes pour les interactions significatives sont présentés dans les figures 8 et 9.	34
Tableau 10. Résumé de l'analyse de variance (valeur de p et MCE des termes d'erreurs) sur le nombre de semis d'épinette noire et le nombre de semis de pin gris à l'hectare pour les blocs 1 à 5*, les 2 types de peuplements (PL et PL _{SC}) et les 7 substrats d'émergence. Les résultats des contrastes pour l'interaction significative sont présentés dans la figure 12.	36

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

Les pessières noires à lichens sont des formations forestières que l'on retrouve dispersées dans la forêt continue du domaine bioclimatique de la pessière à mousses qui s'étend du 49^e au 52^e parallèle au Québec (Bergeron, 1996). Elles sont caractérisées par une faible densité d'épinettes noires (*Picea mariana* (Mill) B.S.P.) (moins de 40% de couverture arborescente) et un tapis de lichens (au moins 40% de recouvrement au sol) composé principalement du genre *Cladina* et souvent accompagné d'éricacées (principalement *Kalmia angustifolia* L., *Ledum groenlandicum* Oeder, et *Vaccinium angustifolium* Ait.). Les pessières noires à lichens représenteraient au moins 6% du domaine bioclimatique de la pessière à mousses selon la cartographie écoforestière du ministère des ressources naturelles et de la faune du Québec (MRNF) (Hébert et al., 2006).

On retrouve dans la littérature récente quelques études portant sur le processus d'ouverture des peuplements vers des pessières à lichens ou autres milieux récalcitrants à la régénération naturelle (Jasinski et Payette, 2005; Payette et al., 2000; Riverin et Gagnon, 1996). Cependant, on ne rencontre pas d'étude sur la remise en production de ces milieux

par l'ensemencement naturel en comparaison à une forêt bien régénérée comme la pessière noire à mousses.

1.1 Dynamique de formation des pessières à lichens

Plusieurs facteurs vont faire varier la densité et la composition en espèces des peuplements forestiers se développant dans des conditions similaires, soit la quantité et le type de matériel reproducteur, la nature et la sévérité des perturbations et les exigences de croissance des espèces formant ces peuplements (Zasada et al., 1992). Les cônes semi-sérotineux de l'épinette noire en font une espèce bien adaptée au feu (Viereck et Johnston, 1990; Zasada et al., 1979) de sorte qu'un peuplement mature retrouve généralement sa densité initiale de façon naturelle après le passage du feu. Cette dynamique cyclique ne se produit cependant que si les conditions d'ensemencement sont favorables au moment du feu. La formation des pessières à lichens est le résultat de perturbations naturelles successives. Deux feux dans un intervalle de temps rapproché ou encore une épidémie de tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* (Clem.)) suivi d'un feu peuvent ne pas permettre une régénération adéquate et un retour à un peuplement dense d'épinettes noires s'ils arrivent à des endroits et des moments où les conditions d'ensemencement ne sont pas propices (Jasinski et Payette, 2005; Gagnon et Morin, 2001; Payette et al., 2000; Riverin et Gagnon, 1996). Si des espèces compagnes sont présentes (*Betula papyrifera*, *Populus tremuloides* etc.), elles peuvent former un nouveau peuplement

(Gagnon et Morin, 2001). S'il y a absence d'espèce compagne, les lichens et les éricacées peuvent envahir le parterre, signe d'un processus d'ouverture irréversible menant à la création des pessières à lichens. Jasinski et Payette (2005) parlent d'un état alternatif stable parce que les pessières à lichens peuvent s'installer dans des conditions environnementales et climatiques similaires à celles des pessières à mousses denses et possèdent la capacité de persister dans le temps. Le Goff et Sirois (2004) vont jusqu'à affirmer que de courts intervalles de feux peuvent mener à l'extinction des épinettes noires sur un territoire donné. Les mécanismes naturels de retour à un peuplement dense (i.e. pessière noire à mousses) après la formation d'une pessière noire à lichens de faible densité n'ont pas été observés à ce jour (Jasinsky et Payette, 2005).

Les pessières noires à lichens correspondent à deux types de formation (Anonyme, 2003). La première est constituée des peuplements de plus de 90 ans et dont la couverture arborescente de plus de sept mètres représente entre 25 et 40% de recouvrement (densité D). La deuxième est constituée des pessières à lichens dont la densité arborescente de plus de sept mètres est inférieure à 25%. On parle alors de dénudé secs à lichens. Dans les deux cas, les lichens doivent occuper au moins 40% de la superficie au sol et les interventions forestières de quelque nature que ce soit y sont proscrites au Québec (Gouvernement du Québec, 2003). Pour les besoins du projet, aucune distinction ne sera faite entre les deux types de formations qui seront désignées simplement par pessières à lichens (PL).

1.2 Limitations liées à la végétation de compétition

La présence des lichens limite la germination ou le développement des semis naturels. Ils constitueraient à la fois une barrière physique à l'établissement des semis (Houle et Filion, 2003) et une barrière chimique nuisant à leur développement et à leur croissance (allélopathie) (Fisher, 1979; Arseneault, 1978; Brown et Mikola, 1974). Fisher (1979) a observé des réductions significatives dans la croissance et dans les concentrations d'azote et de phosphore chez les semis de pins gris (*Pinus banksiana* Lamb.) et d'épinettes blanches (*Picea glauca* (Moench) Voss) germés sur du lichen en comparaison aux semis germés sur de la mousse. De fortes réductions de croissance des semis ont aussi été observées pour l'épinette de Norvège (*Picea abies* (L)) et le pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.) se développant sur des tapis de lichens (Brown et Mikola, 1974). Les auteurs suggèrent que ces réductions sont probablement dues à la libération par les lichens de substances toxiques qui affecteraient le développement des mycorhizes. Des effets négatifs sur le développement des champignons mycorhiziens ont aussi été observés par Arseneault (1978) pour l'épinette noire mais l'auteur n'a pas noté d'effet sur la germination des graines.

Comme il a été mentionné précédemment, les lichens sont souvent accompagnés d'éricacées comme *Kalmia angustifolia* L. ou *Ledum groenlandicum* Oeder. Ces éricacées nuisent à la croissance de l'épinette noire par la diminution de la disponibilité des éléments nutritifs dans le sol, par des effets allélopathiques ainsi que par les impacts sur la

colonisation mychorizienne (Yamasaki et al., 2002). Mallik (1987) a également affirmé que les éricacées nuisent au développement des semis d'épinette noire à cause des substances phytotoxiques qu'ils exudent. Les éricacées ont également tendance à réduire les concentrations en $\text{NH}_4\text{-N}$ et Phosphore du sol minéral et à réduire les concentrations en azote foliaire des plants d'épinette noire (Thiffault et al., 2004a). L'envahissement par les éricacées conduit souvent à un blocage de la succession forestière pour plusieurs décennies (Damman, 1971). Des résultats récents en plantation sur pessières à lichens ont, par ailleurs, permis de démontrer l'importance de perturber suffisamment le milieu afin d'atténuer les impacts négatifs des lichens et éricacées sur la régénération en épinette noire, par exemple en combinant la coupe et le scarifiage du sol (Hébert et al. 2006).

1.3 L'importance des lits de germination

Si la disponibilité des graines n'est pas limitante, le substrat de germination est le facteur qui a le plus grand impact sur la régénération forestière, entre autres pour le sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.) et l'épinette blanche (Wang et Kembal, 2005). Les travaux préliminaires à l'étude présentés dans ce mémoire ont permis d'observer qu'en pessière à lichens scarifiée et sans récolte des arbres, 80% des semis d'épinettes noires s'installaient dans les sillons de scarifiage, même si ceux-ci ne représentaient que 20% de la surface échantillonnée (Madec, 2005). Les effets positifs d'une préparation de terrain de type scarifiage sur l'ensemencement naturel ont d'ailleurs été abondamment étudiés par plusieurs auteurs, notamment en ce qui a trait à la hausse de la température du sol, aux

conditions d'humidité plus favorables, à l'accélération de la minéralisation des éléments nutritifs dans le sol, à la réduction de la végétation de compétition et, conséquemment à l'augmentation du nombre de semis qui émergent (Karlsson et al., 2002; Karlsson et Orlander, 2000; Prévost, 1997; Winsa et Bergsten, 1994; Orlander et al., 1990). Certains auteurs ont même noté des gains en hauteur pour des semis reboisés dans les milieux scarifiés, notamment chez *Pinus sylvestris* (Karlsson et Orlander, 2000) et *Picea mariana* (Mill.) B.S.P. sur les sites envahis par les éricacées par rapport à des milieux sans scarifiage (Hébert et al., 2006; Thiffault et al., 2004b). Pour l'épinette noire, le scarifiage permet d'exposer des microsites reconnus comme réceptifs à l'ensemencement dont le sol minéral, le mélange minéral-organique et l'humus (Prévost, 1996). Les graines d'épinette noire n'ayant pas la capacité de perdurer de façon prolongée dans le sol (Greene et al., 1999), il est essentiel que le substrat soit favorable à la germination au moment où la chute de graines survient. Dans une étude pour comparer les coupes totales de grandes superficies et les coupes par bandes, Pothier (2000) a déterminé que l'ensemencement post-perturbation s'effectuait dans les cinq années suivant la récolte et que l'absence de nouveaux semis par la suite était attribuable à une diminution de la réceptivité des substrats d'émergence. Ces résultats sont cohérents avec ceux de Madec (2005) qui a déterminé que l'établissement des semis d'épinette noire était maximal durant les 2 années suivants la préparation de terrain pour ensuite diminuer progressivement. En moyenne, Madec (2005) a noté environ 20 000 semis d'épinette noire à l'hectare 5 ans après scarifiage, avec un nombre d'épinettes noires pouvant servir de semenciers variant entre 112 et 363 tiges à l'hectare.

1.4 Ensemencement naturel de l'épinette noire

La reproduction asexuée par marcottage est un des bons moyens de régénération de l'épinette noire, spécialement dans les peuplements où la mousse se développe rapidement (Viereck et Johnston, 1990). L'épinette noire peut aussi se régénérer par graines. Cependant, des études pour d'autres espèces résineuses ont démontré que le succès de régénération dans des densités équivalentes au peuplement initial ne peut être assuré si la disponibilité des graines, la qualité des microsites et les facteurs environnementaux ne sont pas favorables, notamment pour *Pinus ponderosa* (Bonnet et al., 2005), *Pinus uncinata* (Camarero et al., 2005) et *Picea abies* (Valkonen et Maguire, 2005).

L'influence de la taille des graines sur la germination, la survie en bas âge, le développement et la taille des jeunes semis a été observée pour plusieurs espèces résineuses (Walters et Reich, 2000; Burgar, 1964), y compris chez l'épinette noire (Skeates et Haavisto, 1995). La survie des semis en milieu ouvert serait proportionnelle à la masse des graines et cette survie serait supérieure sur des substrats à faible porosité comme l'humus, le sol minéral mis à nu et la matière ligneuse en décomposition (Greene et Johnson, 1998). La relation entre la taille des graines et la survie et le développement en bas âge des semis ne serait cependant que temporaire et s'atténuerait avec le temps, tel qu'observé par Walters et Reich (2000) pour *Pinus sylvestris* L. et par Chaisurisri et al. (1994) pour *Picea sitka*. Dunlap et Barnett (1983) ont également observé que la germination des semis de *Pinus taeda* L. s'effectue plus rapidement pour les graines de tailles supérieures et que la taille des plantules était supérieure pour les graines de moyennes et de grandes tailles.

Pour Ackzell (1994), la présence et les caractéristiques des semis naturels présentent un intérêt évident sur les plans de l'écologie, de la sylviculture et de la génétique en Suède. Au point de vue monétaire, des économies substantielles pourraient être réalisées en favorisant la régénération naturelle au lieu de la plantation de semis sur des sites éloignés ou ne présentant pas ou peu de végétation de compétition comme c'est le cas pour les pessières à lichens.

1.5 Hypothèses et objectifs

L'origine de l'étude présentée ici provient notamment des travaux préliminaires de Madec (2005) qui a démontré un potentiel notable pour l'ensemencement naturel des pessières à lichens après scarifiage. Elle provient également de l'hypothèse voulant qu'un degré suffisant de perturbation du milieu, notamment en combinant la coupe et le scarifiage, s'avère nécessaire pour atténuer certains impacts des compétiteurs sur la régénération en épinette noire (Hébert et al. 2006). Il y a un intérêt réel d'approfondir tous les aspects de cet ensemencement naturel en pessière à lichens, notamment en terme de modalités sylvicoles, d'autant plus que le boisement éventuel de ces milieux ouverts et improductifs par l'ensemencement montre un potentiel économique significatif, considérant les coûts élevés reliés au reboisement de plants produits en pépinière.

Ainsi, la première hypothèse est qu'un nombre plus important de graines devrait être retrouvé dans les pessières à mousses par rapport aux pessières à lichens traitées de façon équivalente. La deuxième hypothèse est que suite à une double perturbation (coupe et

préparation de terrain), l'émergence des semis devrait être supérieure en pessière à mousses qu'en pessière à lichens. La troisième hypothèse est que les graines issues de la chute naturelle devraient avoir un potentiel germinatif plus élevé pour celles provenant de pessières à mousses par rapport à celles provenant de pessières à lichens comparables.

Les objectifs de ce mémoire sont de 1) déterminer l'influence de la source de semences sur l'importance de la pluie de graines en terme de quantité et sur l'installation des semis naturels dans une pessière à lichens (PL) en comparaison à une pessière à mousses (PM) sous différentes approches sylvicoles, 2) déterminer l'influence du lit de germination sur l'installation des semis naturels dans PL en comparaison avec PM sous différentes approches sylvicoles, et 3) déterminer l'influence du type de peuplement (PM vs PL) et de la taille des graines sur le taux de germination.

CHAPITRE 2

MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 Description des sites d'étude

L'expérience se déroule dans six blocs expérimentaux. Les blocs sont répartis sur deux sites d'étude (figure 1). Les sites sont localisés à l'ouest de la rivière Péribonka (blocs 1 à 4) à la jonction des sous-domaines bioclimatiques de la sapinière à bouleau blanc de l'est et de la pessière à mousses de l'est (42° 57' 59" N, 71° 20' 51" O) et à l'ouest de la rivière Mistassibi (blocs 5 et 6) dans le sous-domaine de la pessière à mousses de l'est (50° 17' 82" N, 72° 02' 66" O) (Saucier et al. 1998). Les six blocs présentent un sol de type podzol et un humus de type mor. Un till indifférencié (1A) recouvre cinq des six blocs tandis que le bloc 4 repose sur une plaine d'épandage (2BE). Tous les blocs présentent un drainage bon à modéré (2-3) (Saucier et al., 1994).

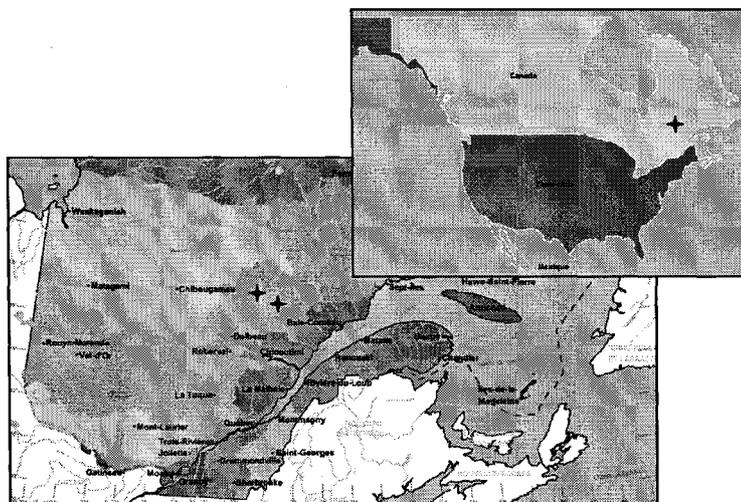


Figure 1. Localisation des sites d'étude

En utilisant les données des quatre stations météorologiques d'Environnement Canada les plus près des sites d'étude (Bonnard, $50^{\circ} 44' N$, $71^{\circ} 03' O$; Chapais2, $49^{\circ} 47' N$, $74^{\circ} 51' O$; Hémon, $49^{\circ} 04' N$, $72^{\circ} 36' O$; Mistassini, $48^{\circ} 51' N$, $72^{\circ} 12' O$), on observe une température annuelle moyenne qui oscille entre $-1,8^{\circ}C$ et $1,4^{\circ}C$. En janvier, on note une température maximale moyenne entre $-14,7^{\circ}C$ et $-11,8^{\circ}C$ et une température minimale moyenne allant de $-27,1^{\circ}C$ à $-24,4^{\circ}C$. En juillet, la température maximale moyenne oscille entre $20,4^{\circ}C$ et $23,9^{\circ}C$ et la température minimale moyenne entre $8,8^{\circ}C$ et $11,2^{\circ}C$. Les précipitations annuelles varient entre 919,8 mm et 970 mm dont 636,9 mm à 700,5 mm sous forme de pluie. Le nombre moyen de jours sans gel varie entre 133,8 et 151 et le nombre de degrés-jour au dessus de $5^{\circ}C$ varie entre 970,9 et 1 373,7 (Environnement Canada, 2005).

2.2 Dispositif expérimental et traitements

Les travaux ont été effectués sur un dispositif en six blocs aléatoires complets. Chaque bloc était composé d'une pessière noire à mousses (PM) et d'une pessière noire à lichens (PL) dominées par l'épinette noire (*Picea mariana* (Mill) B.S.P.) sur plus de 75 % de la surface terrière. Les deux peuplements d'un même bloc devaient être situés à proximité l'un de l'autre et présenter des caractéristiques similaires de dépôt, drainage, pente, type de couvert et groupement d'essences. Un inventaire forestier pré-traitement effectué dans tous les blocs à l'été 2005 (placettes de 400 m², MRN 2002) a permis de déterminer que la densité arborescente de PM était d'au moins 60 % (densité B), avec un nombre de tiges marchandes (9,1 cm et plus) à l'hectare variant entre 1 300 et 2 550, un diamètre à hauteur de poitrine (DHP) moyen de 14,0 cm et une hauteur variant entre 16,5 et 17,3 mètres. La densité arborescente de PL était de moins de 25 % avec un nombre de tiges marchandes à l'hectare variant entre 175 et 775, un DHP moyen de 15,0 cm et une hauteur variant entre 9,1 et 16,0 mètres. Les lichens devaient occuper au moins 40 % de la surface du sol pour PL (principalement *Cladina mitis* (Sandst.) Hutish, *Cladina stellaris* (Opiz) Brodo et *Cladina rangiferina* (L.) Nyl.). Pour chacun des peuplements, deux hectares ont été récoltés à l'été 2005 à l'aide d'une abatteuse multifonctionnelle selon les normes de la coupe avec protection de la régénération et des sols (CPRS) en vigueur au Québec (Gouvernement du Québec, 2003). Une préparation de terrain de type scarifiage (S) a été effectuée sur une portion de 0,8 hectare (sélectionnée aléatoirement) de chaque peuplement récolté à l'aide d'un scarificateur à disques de type TTS mécanique (blocs 1 à 4) ou

hydraulique (blocs 5 et 6) dans les semaines suivant la coupe, afin d'exposer des lits de germination favorables à l'installation de semis naturels. Chaque peuplement était donc, sur près de sa moitié, récolté et scarifié (S1) et, sur l'autre moitié, récolté sans scarifiage (S0). Dans chacun des blocs, deux hectares de PL ont aussi été scarifiés sans être coupés (PL_{SC}). Le type de scarificateur utilisé était fonction de la disponibilité de la machinerie sur chacun des sites mais un même scarificateur a été utilisé pour un bloc complet.

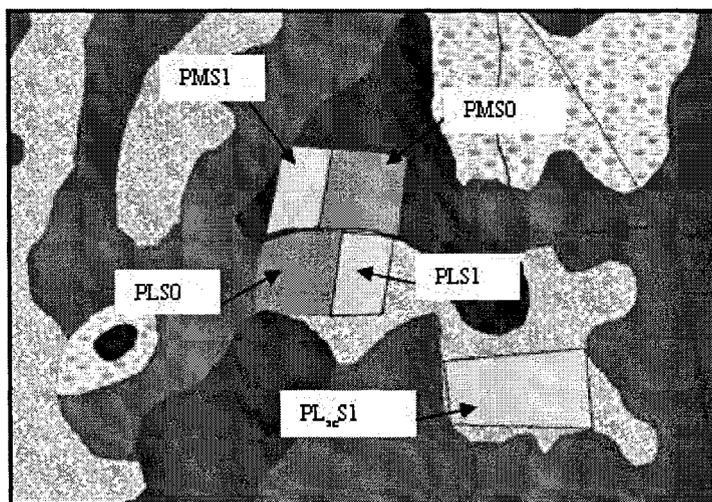


Figure 2. Schéma d'un bloc expérimental. Les deux types de peuplements (pessière à mousses (PM), pessière à lichens (PL) sont représentés ainsi que les combinaisons de traitements sylvicoles, sans scarifiage (S0), avec scarifiage (S1), sans coupe (sc)).

Trente-six trappes à graines étaient distribuées sur des grilles de 40 mètres par 40 mètres avec une trappe à tous les 8 mètres. Les grilles étaient installées au centre de chacun des peuplements : pessière à mousses avec coupe (PM), pessière à lichens avec coupe (PL) et pessière à lichens sans coupe (PL_{SC}). Les trappes étaient constituées d'un seau de 21 cm d'ouverture sur lequel était installé un voile pour recueillir les graines et un grillage pour protéger la récolte contre la faune. Des grilles de micro-placettes pour le suivi des semis ont

été établies dans chaque niveau de perturbation pour chacun des peuplements (PMS0, PMS1, PLS0, PLS1, PL_{SC}S1). Les micro-placettes étaient des quadrats d'une superficie de 1 m² et étaient disposées systématiquement à 1 mètre de chaque trappe à graines dans les grilles de trappes à graines pour les superficies récoltées sans scarifiage (PMS0, PLS0). Dans les superficies scarifiées (PMS1, PLS1, PL_{SC}S1), 49 micro-placettes réparties sur des grilles de 24 mètres par 24 mètres ont été systématiquement installées avec une micro-placettes à tous les 4 mètres. Le tableau 1 résume la répartition des grilles. Les micro-placettes ont été installées au moment de la prise de données à l'été 2006. Les semenciers résiduels à l'intérieur des grilles ont été identifiés, positionnés selon un système de coordonnées (x,y), et l'essence, le DHP et la hauteur ont été notés. Pour les fins de l'étude, les semenciers sont définis comme des arbres portant au moins un cône, sans égard au diamètre et à la hauteur. La dimension des grilles sur lesquelles les semenciers positionnés et caractérisés était supérieure à la taille des grilles de trappes à graines et de suivi de semis tel que décrit dans le tableau 1.

Tableau 1. Disposition des grilles de trappes à graines et de suivi de semis en fonction du type de peuplement et du niveau de scarifiage

		Grilles de trappes à graines (40 m x 40 m)	Grilles suivi de semis (40 m x 40 m)	Grilles suivi de semis (24 m x 24 m)	Grilles de semenciers (56m x 56 m)	Grilles de semenciers (40 m x 40 m)
PM	S0	x	x		x	
	S1			x		x
PL	S0	x	x		x	
	S1			x		x
PL_{SC}	S1	x		x		x

2.3 Mesures sur les graines

Les graines ont été récoltées à quatre reprises durant l'année qui a suivi la mise en place des grilles de trappes à graines (voir tableau 2). Les quatre récoltes ont été triées et dénombrées en laboratoire pour ne considérer que les graines d'épinette noire (une quantité négligeable de graines d'autres essences a été retrouvée).

La longueur des graines a été mesurée à l'aide du logiciel MacSeedle™ V.4.4A de Regent Instrument Inc. pour les récoltes 1 et 2 de PM et PL. Les graines ont été classées en deux classes de longueur couvrant le spectre de distribution des longueurs des graines pour les récoltes 1 et 2 (classe 1 : < 1,9 mm; classe 2 : > 1,9 mm). Un test de germination a été réalisé sur la récolte 2 suivant les normes internationales établies par l'*International Seed Testing Association* pour l'épinette noire (ISTA, 1999). La récolte 2 a été choisie pour le test de germination puisque c'était celle qui était la plus abondante. Les graines des autres récoltes ont été mesurées (récolte 2 et 3) et soumises au test de germination (récolte 1,3 et 4) pour une autre étude mais les résultats ne sont pas présentés dans ce mémoire. Le milieu de germination était constitué d'une membrane Kimpack® humidifiée avec de l'eau déminéralisée et placé dans des boîtes de plastique transparent (Spencer et Lemaire®). Les tests de germination ont été effectués dans des chambres de croissance à environnement contrôlé Conviron®. Un taux de germination a été établie en fonction du nombre de graines germées sur le nombre total de graines ayant été placées en chambre de croissance.

Tableau 2. Date d'installation des grilles de trappes à graines et dates de récoltes par sites d'étude.

	Dates	
	Blocs 1 à 4	Blocs 5 et 6
Installation des trappes	2005-08-02	2005-08-23
Récolte 1	2005-10-06	2005-09-28
Récolte 2	2006-05-22	2006-06-08
Récolte 3	2006-07-05	2006-07-13
Récolte 4	2006-08-21	2006-08-28

2.4 Mesures sur les semis

L'installation naturelle des semis un an après les activités de récolte et de préparation de terrain a été vérifiée par un dénombrement complet dans chaque grille de MP. L'essence (épinette noire ou pin gris), la position dans la MP selon un système de coordonnées (x,y), le lieu d'installation (perturbé ou non-perturbé) ainsi que le substrat d'émergence ont été notés. Le lieu d'installation était identifié comme perturbé (P) s'il y avait eu un passage de machinerie (abatteuse, scarificateur). Le lieu d'installation a été identifié comme non-perturbé (NP) lorsqu'il n'y avait pas eu de passage de machinerie. Pour les secteurs sans scarifiage, le milieu perturbé correspond donc au sentier de débardage et le non-perturbé correspond à l'inter-sentier. Pour les secteurs avec scarifiage, le milieu perturbé correspond au sillon de scarifiage et le non-perturbé à l'inter-sillon. À aucune occasion il n'est arrivé que le milieu perturbé dans les secteurs scarifiés corresponde au sentier de débardage sans sillon de scarifiage. Le substrat d'émergence est défini comme étant le substrat sur lequel on aperçoit le semis. Le substrat d'émergence et le substrat de germination pourraient différer puisqu'il fallait éviter de perturber le sol afin de

pouvoir étudier la survie et la croissance à long terme. Sept substrats d'émergence ont été considérés et sont décrits dans le tableau 3. Le coefficient de réceptivité des lieux de germination a été établi en divisant le nombre de semis dans P et NP par la superficie occupée par P et NP (Jarvis et Cayford, 1961; Groot, 1988).

Tableau 3. Définition des substrats d'émergence considérés lors de la prise de données

Substrat d'émergence	Définition
Minéral	Sol minéral mis à nu par le scarifiage
Matière organique	Matière organique en décomposition. Principalement les horizons F et H de l'humus mis à nu.
Mousses	Mousses vivantes non-perturbées. Principalement <i>Hylocomium splendens</i> (Hedw.) et <i>Pleurozium shreberi</i> (Brid.) Mitt.
Lichens	Lichens vivants non perturbés. Principalement <i>Cladina mitis</i> (Sandst.) Hutish, <i>Cladina stellaris</i> (Opiz) Brodo et <i>Cladina rangiferina</i> (L.) Nyl.
Matière ligneuse	Tronc, branche en décomposition
Sphaigne	Sphaigne vivante, non perturbée (<i>Sphagnum sp.</i>)
Déchets	Lit d'aiguilles, branches, cônes etc. issus des traitements sylvicoles.

2.5 Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées selon deux plans d'expérience. Le premier s'intéresse aux comparaisons entre la pessière à mousses et la pessière à lichens avec coupe (PM et PL) tandis que le deuxième s'attarde aux comparaisons entre la pessière à lichens scarifiée avec coupe et la pessière à lichens scarifiée sans coupe (PL et PL_{sc}).

Pour les comparaisons entre PM et PL, une analyse de variance (ANOVA) en tiroirs (split plot) a été effectuée pour le nombre de semenciers d'épinette noire à l'hectare avec le peuplement en parcelle principale et le scarifiage en sous-parcelle. Des ANOVAs en tiroirs

(split plot) ont été effectuées pour les variables nombre de graines et longueur des graines avec la récolte de graines en parcelle principale et le peuplement en sous parcelle. Des ANOVAs en tiroirs ont été effectuées pour le taux de germination avec le peuplement en parcelle principale et la classe de longueur en sous-parcelle. Des ANOVAs en tiroirs subdivisés (split-split plot) ont été effectuées pour les variables nombre de semis d'épinette noire au mètre carré et nombre de semis de pin gris au mètre carré avec le peuplement en parcelle principale, le scarifiage en sous-parcelle et la perturbation ou le substrat d'émergence en sous-sous parcelle. Pour la perturbation en sous-parcelle, une deuxième analyse tient compte de la surface occupée par les différents niveaux de perturbation (réceptivité).

Pour les comparaisons entre PL et PL_{SC}, des ANOVAs en tiroirs subdivisés ont été effectuées pour les variables nombre de semis d'épinette noire au mètre carré et nombre de semis de pin gris au mètre carré avec le peuplement en parcelle principale et le substrat d'émergence en sous parcelle.

Toutes les données ont été testées afin de répondre aux postulats de base de l'analyse de variance (Quinn et Keough, 2002). Des transformations (racine carrée, logarithme naturel et arcsinus) ont été effectuées lorsque l'analyse visuelle des résidus révélait un manque d'homogénéité de la variance (Devore et Peck, 1994).

Les analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel JMP IN 5.1 (SAS Institute Inc., Cary, NC) avec un seuil de significativité de 0,05. Des tests LSD de Student ont été effectués lorsque des différences significatives étaient détectées. Pour les interactions significatives, des contrastes ont été effectués entre les variables impliquées dans l'interaction. La procédure mixte (REML) a été utilisée dans les cas où les variables présentaient des données manquantes (nombre de semis, longueur des graines, substrat d'émergence). Dans tous les autres cas, la procédure linéaire (EMS) a été utilisée.

CHAPITRE 3

RÉSULTATS

3.1 Semenciers résiduels

Le diamètre moyen des semenciers résiduels dans PL est de 6,1 cm, soit légèrement moins élevé que dans PM (6,5 cm). Cependant, on retrouve 15,5 % des tiges de PL dans une classe de diamètre supérieure à 8 cm par rapport à 0 % pour PM. Il y a donc une tendance à de plus forts diamètres dans PL par rapport à PM chez les semenciers résiduels. Pour ce qui est de la hauteur moyenne, elle est de 5,41 m dans PL par rapport à 6,45 m dans PM, avec un proportion de tiges présentes dans une classe de hauteur supérieure à 6 m (entre 5,1 et 6,9 m) de 40,2 % pour PL et de 57,9 % pour PM (figure 3).

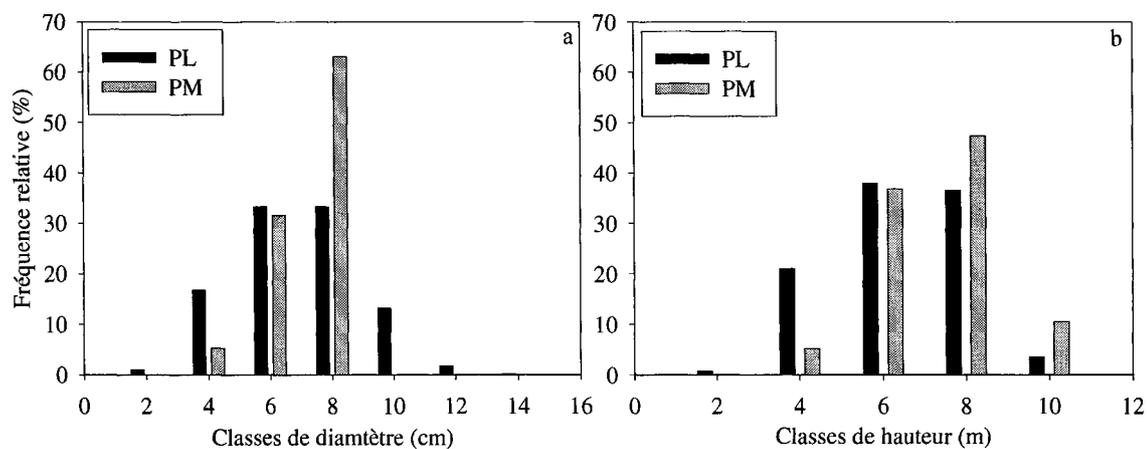


Figure 3. Distribution des fréquences relatives des semenciers résiduels après récolte sans scarifiage par classes de diamètre en centimètres (a) et classes de hauteur en mètres (b).

Les pessières à lichens (PL) présentent 18,7 fois plus de semenciers résiduels à l'hectare (tige portant au moins un cône après traitement) que les pessières à mousses (PM), avec 124,5 semenciers à l'hectare pour les PL comparativement à 5,8 pour les PM suite à la coupe avec protection de la régénération et des sols. Dans la portion sans scarifiage, les semenciers résiduels à l'hectare sont 13,9 fois plus nombreux que dans la portion scarifiée soit 112,7 semenciers à l'hectare dans la portion sans scarifiage comparativement à 8,1 semenciers dans la portion scarifiée. La préparation de terrain a donc contribué à détruire une partie de la régénération porteuse de cône (tableau 4, figure 4).

Tableau 4. Résumé de l'analyse de variance (valeur de p , degrés de libertés (dl) et MCE des termes d'erreurs) sur le nombre de semenciers résiduels à l'hectare pour les 6 blocs, les deux peuplements (PL et PM), et les deux niveaux de scarifiage (S0 et S1).

Source de variation	dl	Nb semis
Bloc (B)	5	0,3684
Peuplement (P)	1	0,0209
MCE parcelle principale	5	6701,91
Scarifiage (S)	1	0,0384
S x P	1	0,1126
MCE sous-parcelle	5	8524,4

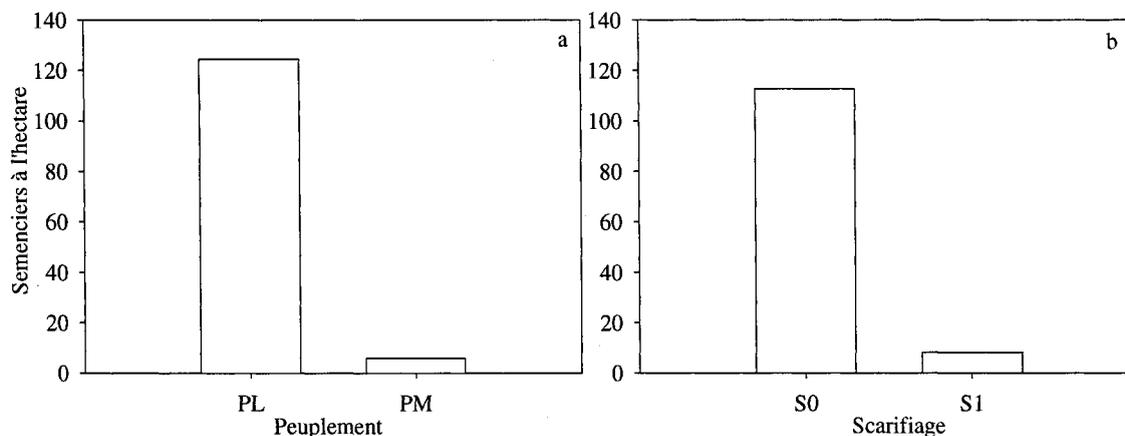


Figure 4. a) Effet du type de peuplements (PL : pessière à lichens avec coupe; PM : pessière à mousses avec coupe) et b) effet du scarifiage (S0 : sans scarifiage; S1 : avec scarifiage) sur la quantité de semenciers résiduels à l'hectare (arbres portant au moins un cône) après coupe.

3.2 Mesures sur les graines

La chute de graines dans PM s'est avérée 1,4 fois plus importante que dans PL (0,35 graines par trappe pour PM et 0,24 graines par trappe pour PL) pour l'ensemble des 4 récoltes (figure 5). Sur une année complète (août 2005 à août 2006), la chute de graine est estimée à environ 381 300 graines à l'hectare en PL et 548 000 graines à l'hectare en PM en moyenne pour les 6 blocs étudiés. La relation entre le nombre de graines issues de la chute et le type de peuplement est donc inverse à celle entre le nombre de semenciers résiduels à l'hectare et le type de peuplement (tableau 5, figure 5).

En pessière à lichens scarifiée sans coupe (PL_{sc}), on estime la chute à environ 2 947 000 graines à l'hectare pour l'année d'étude (résultat non-présenté). L'influence d'un couvert forestier dans un site n'ayant pas fait l'objet d'une récolte (PL_{sc}) par rapport à un

site récolté (PL) ressort clairement par ce dernier résultat avec 7,7 fois plus de graines récoltés dans PLsc par rapport à PL.

Tableau 5. Résumé de l'analyse de variance (p , MCE des termes d'erreurs, procédure mixte) sur le nombre de graines récoltées par trappe pour les 6 blocs, les 4 récoltes et les 2 peuplements (PL et PM).

Source de variation	dl	Nb graines par trappe*
Bloc (B)	5	< 0,0001
Récolte (R)	3	< 0,0001
MCE parcelle principale	15	0,07053
Peuplement (P)	1	0,0053
P x R	3	0,3044
MCE sous-parcelle	20	0,092985

* Les données ont été transformées : $y = \sqrt{x+0.5}$

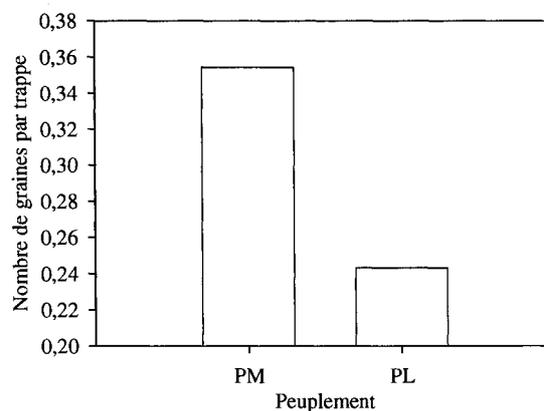


Figure 5. Effet du type de peuplements (PL, PM) sur le nombre de graines d'épinette noire récoltées par trappe. Les données présentées sont les moyennes détransformées ($x = y^2 - 0,5$)

Aucune différence sur la longueur des graines n'a été notée entre les peuplements (tableau 6). Des différences significatives ont cependant été remarquées dans les taux de germination en fonction de la longueur des graines, donnant un net avantage aux graines les plus longues. Les graines les plus courtes ont germé en cabinet de croissance dans une proportion significativement plus basse, soit 7,5% comparativement à 33,7% pour les graines les plus longues, peu importe si elles provenaient de la pessière à mousses ou de la pessière à lichens (tableau 7, figure 6). En ce qui concerne les comparaisons entre la pessière à lichens récoltée et scarifiée (PL) et la pessière à lichens scarifiées sans coupe (PL_{SC}), aucune différence sur le taux de germination n'a été détectée, laissant supposer une qualité du matériel reproducteur similaire pour les deux modalités sylvicoles.

Tableau 6. Résumé de l'analyse de variance (p , MCE des termes d'erreurs, procédure mixte) sur la longueur des graines dans les 6 blocs pour les 2 premières récoltes (octobre 2005 et mai 2006) et les 2 peuplements (PL et PM).

Source de variation	dl	Longueur des graines
Bloc (B)	5	0,9103
Récolte (R)	1	0,5874
MCE parcelle principale	5	0,177053
Peuplement (P)	1	0,3156
P x R	1	0,3674
MCE sous-parcelle	10	0,0549769

Tableau 7. Résumé de l'analyse de variance (p , MCE des termes d'erreurs, procédure linéaire) sur le taux de germination pour les 6 blocs, les 2 peuplements et les 2 classes de longueur.

Source de variation	dl	Taux de germination
Bloc (B)	5	0,5009
Peuplement (P)	1	0,4271
MCE parcelle principale	5	158,371
Classe de longueur (C)	1	0,0018
P x C	1	0,2911
MCE sous-parcelle	5	67,1347

* Les données ont été transformées : $y = \arcsin \sqrt{x} \times \left(\frac{180}{\pi}\right)$

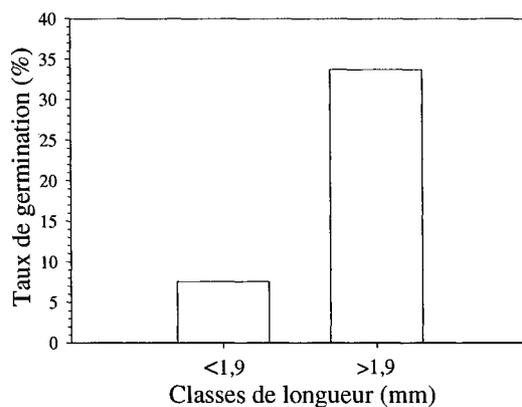


Figure 6. Effet de la classe de longueur (1 : < 1,9 mm ; 2 : >1,9 mm) sur le taux de germination des graines d'épinettes noires de la deuxième récolte. Les données présentées sont les moyennes détransformées $x = \left(\left(\sin \left(\frac{\pi}{180} \right) \right) \times y \right)^2$.

3.3 Lieu d'émergence

Il a eu environ 10 fois plus de semis d'épinette noire dénombrés en pessière à mousses (1 702 semis à l'hectare) qu'en pessière à lichens (169 semis à l'hectare) pour le milieu non-perturbé (NP). Après scarifiage, 4,1 fois plus de semis ont été dénombrés pour le milieu perturbé (2 444 semis à l'hectare) que pour le milieu non-perturbé (595 semis à l'hectare), confirmant les effets positifs de la préparation de terrain par scarifiage sur l'émergence des semis (tableau 8, figure 7).

Pour le pin gris dans la portion sans scarifiage, le nombre de semis dans le milieu perturbé a été 21 fois plus élevé (1 472 semis à l'hectare) que dans le milieu non-perturbé (69 semis à l'hectare) (figure 9a). L'importance de la perturbation du sol semble encore plus importante pour cette espèce puisque aucune différence significative n'a été notée entre les peuplements.

Tableau 8. Résumé de l'analyse de variance (valeur de p et MCE des termes d'erreurs) sur le nombre de semis d'épinette noire et de pin gris à l'hectare pour les 6 blocs, les 2 types de peuplement (PL et PM), les 2 niveaux de scarifiage (S0 et S1) et les 2 niveaux de perturbation (NP et P). Les résultats des contrastes sont présentés sous les interactions significatives.

Source de variation	dl	Semis EPN	Semis EPN ^a pondéré	Semis PIG	Semis PIG ^b pondéré
Bloc (B)	5	0,2140	0,1591	0,3264	0,1901
Peuplement (P)	1	0,3293	0,9304	0,9317	0,5761
MCE parcelle principale	5	0,05476	0,33647	0,33647	0,33647
Scarifiage (S)	1	0,0370	<0,0001	0,4033	0,8177
S x P	1	0,3049	0,2871	0,4428	0,2964
MCE sous-parcelle	5	0,00843	0,10245	0,10245	0,10245
Perturbation (Pt)	1	0,2110	< 0,0001	0,3541	0,5522
Pt x P	1	0,0488	0,1087	0,3278	0,1597
Contrastes					
		NP_{PL} vs NP_{PM}	0,0270		
		P_{PL} vs P_{PM}	0,7094		
Pt x S	1	0,0079	< 0,0001	0,0452	0,0310
Contrastes					
		S0_{NP} vs S0_P	0,1378	0,9448	0,0582
		S1_{NP} vs S1_P	0,0073	< 0,0001	0,2783
Pt x P x S	1	0,4889	0,6061	0,9397	0,4815
MCE sous-sous-parcelle	5	0,01534	0,09144	0,09144	0,09144

a) Nombre de semis d'épinettes noires pondéré en fonction des superficies occupées par les milieux non-perturbé et perturbé (réceptivité) (Jarvis & Cayford 1961; Groot 1988);

b) Nombre de semis de pins gris pondéré en fonction des superficies occupées par les milieux non perturbé et perturbé (réceptivité).

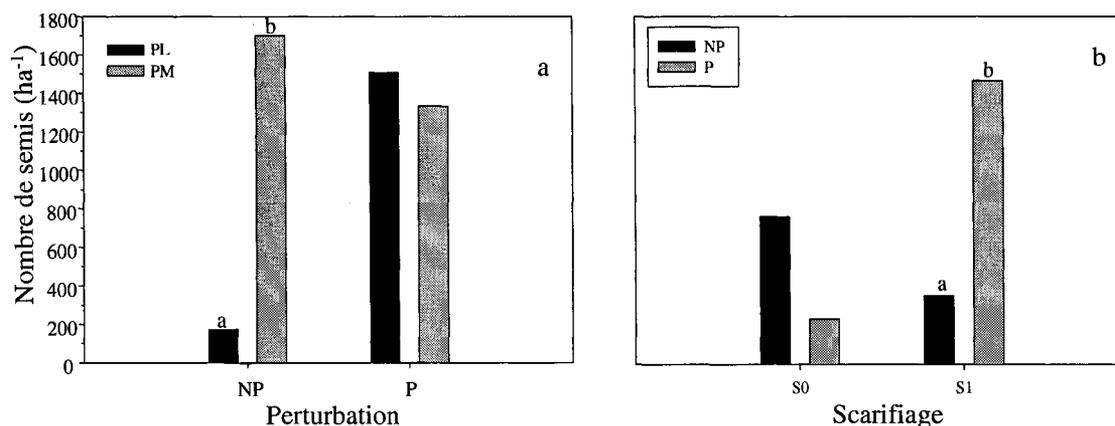


Figure 7. Effet de l'interaction entre (a) le type de peuplement (PL, PM) et le niveau de perturbation (NP : non-perturbé; P : perturbé) et entre (b) le niveau de scarifiage (S0 : sans scarifiage; S1 : avec scarifiage) et le niveau de perturbation sur le nombre de semis d'épinette noire à l'hectare.

3.4 Réceptivité du milieu

La réceptivité significativement plus élevée du sillon de scarifiage (portion perturbée (P) de S1) pour l'épinette noire est démontrée à la figure 8. Les résultats indiquent que le milieu perturbé (P) a été 19,5 fois plus réceptif que le milieu non-perturbé pour la portion scarifié. Les résultats pour le pin gris montrent que la réceptivité du milieu perturbé a été 28,3 fois supérieure que celle du milieu non-perturbé pour la portion avec scarifiage (figure 9b). Ces deux résultats montrent donc l'apport positif du scarifiage pour assurer le succès de la régénération par graines, autant dans PM que dans PL puisque aucune différence significative n'est ressortie entre les peuplements.

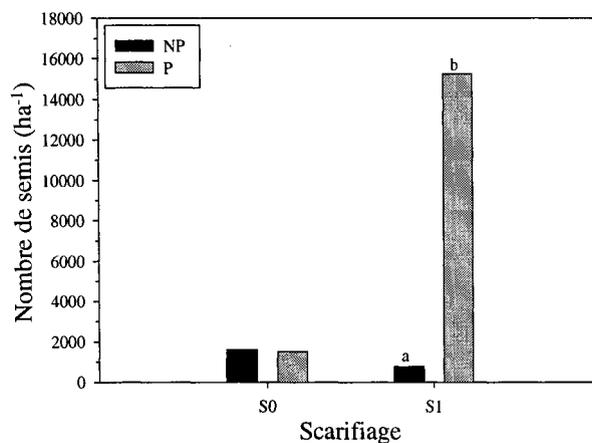


Figure 8. Effet de l'interaction entre le niveau de scarifiage (S0 : sans scarifiage; S1 : avec scarifiage) et le niveau de perturbation (NP, P) sur le nombre de semis d'épinette noire à l'hectare pondéré en fonction des superficies occupées par NP et P (réceptivité). $p_{(S0)} = 0,9448$ et $p_{(S1)} < 0,0001$.

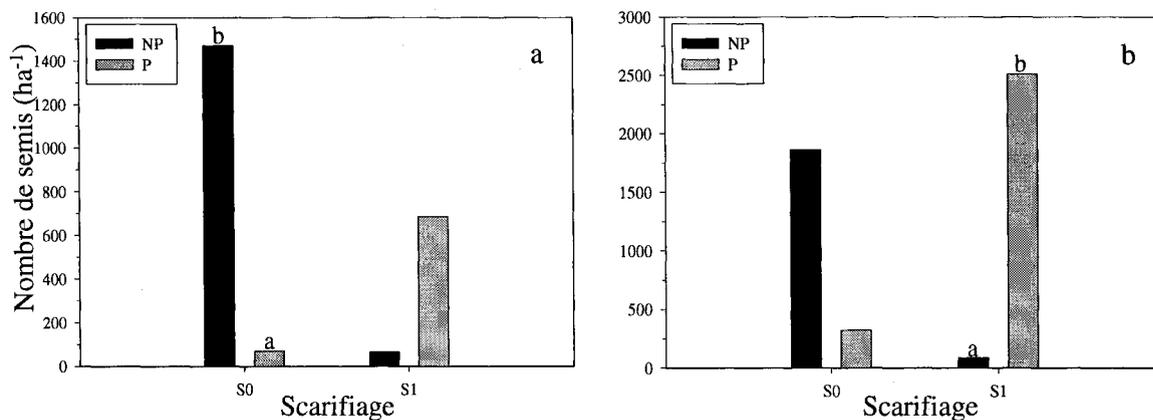


Figure 9. a) Effet de l'interaction entre le niveau de scarifiage (S0, S1) et le niveau de perturbation (NP, P) sur le nombre de semis de pin gris à l'hectare. $p_{(S0)} = 0,0582$ et $p_{(S1)} = 0,2783$. **b)** Effet de l'interaction entre le niveau de scarifiage sur le nombre de semis de pin gris à l'hectare pondéré en fonction des superficies occupées par NP et P (réceptivité). $p_{(S0)} = 0,1954$ et $p_{(S1)} = 0,0403$.

3.5 Substrat d'émergence

Dans la portion sans scarifiage (S0), aucun effet du substrat n'a été détecté de façon significative autant pour l'épinette noire que pour le pin gris (tableau 9). Deux substrats ressortent cependant fortement significatifs dans la portion scarifiée (S1) pour les deux espèces. Le tableau 9 et les figures 10 (épinette noire) et 11 (pin gris) montrent clairement que le sol minéral mis à nu et la matière organique en décomposition se sont avérés significativement plus favorables que les autres substrats pour l'émergence des semis. Les mêmes substrats sont ressortis significativement plus favorables pour la pessière à lichens scarifiés sans coupe (PL_{SC}) pour l'épinette noire, mais il n'y a pas eu d'effet significatif dans le cas du pin gris (Tableau 10, figure 12).

Tableau 9. Résumé de l'analyse de variance (valeur de p et MCE des termes d'erreurs) sur le nombre de semis d'épinette noire et de pin gris à l'hectare pour les 6 blocs, les 2 types de peuplement (PL et PM), les 2 niveaux de scarifiage (S0 et S1) et les 7 substrats d'émergence. Les résultats des contrastes pour les interactions significatives sont présentés dans les figures 8 et 9.

Source de variation	dl	Semis EPN ^a	Semis PIG ^a
Bloc (B)	5	0,1878	0,3077
Peuplement (P)	1	0,5758	0,7025
MCE parcelle principale	5	0,0000812	0,0092607
Scarifiage (S)	1	0,0005	0,6667
S x P	1	0,3921	0,1326
MCE sous-parcelle	5	0,0000826	0,0180349
Substrats (Su)	6	< 0,0001	0,2086
Su x P	6	0,1269	0,2415
Su x S	6	< 0,0001	0,0533
Su x P x S	6	0,4120	0,1378
MCE sous-sous-parcelle	124	0,0173925	0,0007127

* Les données ont été transformées : $y = \text{Ln}(x + 0,5)$

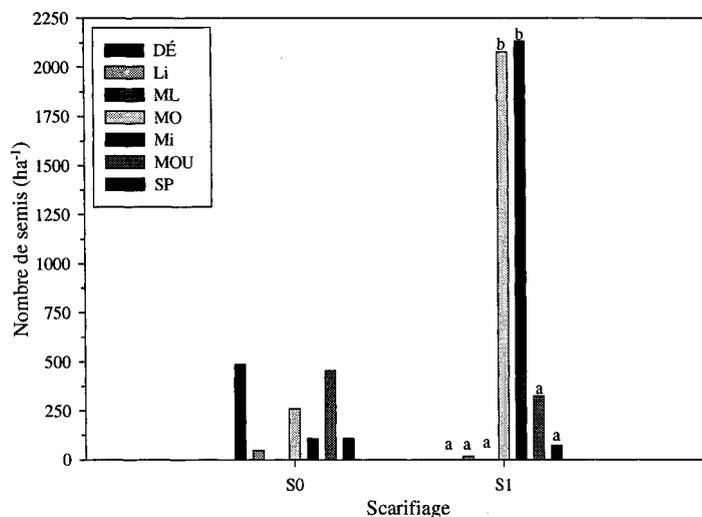


Figure 10. Effet de l'interaction entre le niveau de scarifiage (S0, S1) et le substrat d'émergence (DÉ : débris; Li : lichens; ML : matière ligneuse; MO : matière organique; Mi : minéral; MOU : mousse; SP : sphaigne) sur le nombre de semis d'épinettes noires à l'hectare pour $p < 0,0001$. Les données présentées sont les moyennes détransformées ($x = e^y - 0,5$).

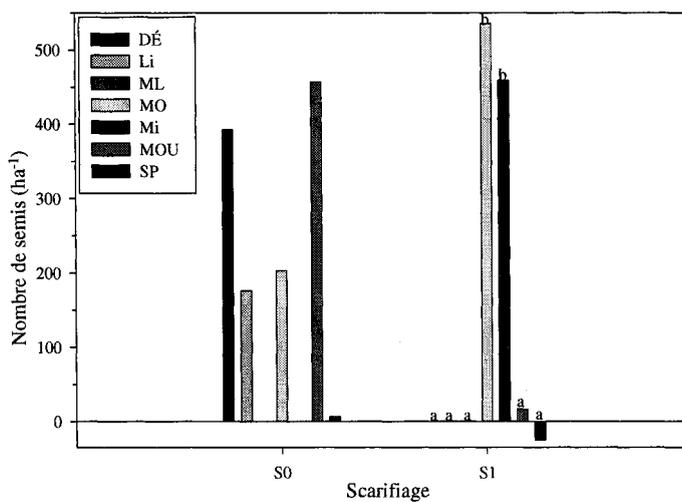


Figure 11. Effet de l'interaction entre le niveau de scarifiage (S0, S1) et le substrat d'émergence (DÉ : débris; Li : lichens; ML : matière ligneuse; MO : matière organique; Mi : minéral; MOU : mousse; SP : sphaigne) sur le nombre de semis de pins gris à l'hectare pour $p = 0,0001$. Les données présentées sont les moyennes détransformées ($x = e^y - 0,5$).

Tableau 10. Résumé de l'analyse de variance (valeur de p et MCE des termes d'erreurs) sur le nombre de semis d'épinette noire et le nombre de semis de pin gris à l'hectare pour les blocs 1 à 5*, les 2 types de peuplements (PL et PL_{sc}) et les 7 substrats d'émergence. Les résultats des contrastes pour l'interaction significative sont présentés dans la figure 12.

Source de variation	dl	Semis EPN**	Semis PIG**
Bloc (B)	4	0,0323	0,4128
Peuplement (P)	1	< 0,0001	0,1549
MCE parcelle principale	4	3,175e-10	0,01894
Substrat (Su)	6	< 0,0001	0,0701
P x Su	6	< 0,0001	0,0909
MCE sous-parcelle	24	0,0539029	0,00979

*Le bloc 6 n'a pas pu être inventorié.

**Les données ont été transformées : $y = \ln(x + 0,5)$.

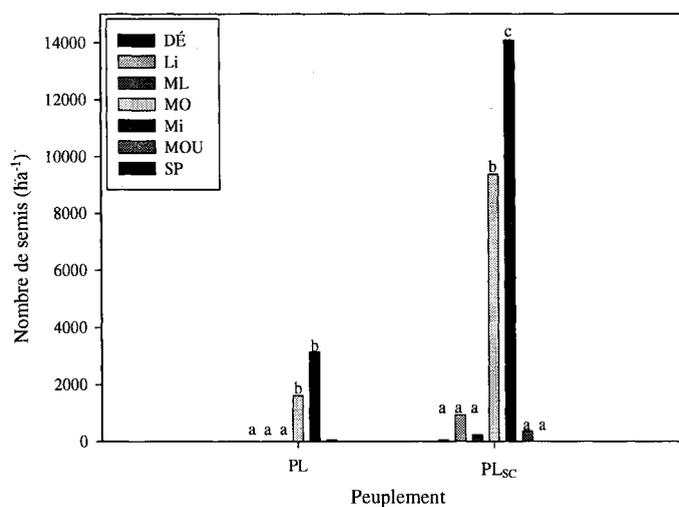


Figure 12. Effet de l'interaction entre le type de peuplement (PL : coupe et scarifiage; PL_{sc} : scarifiage sans coupe) et le substrat d'émergence (DÉ : débris; Li : lichens; ML : matière ligneuse; MO : matière organique; Mi : minéral; MOU : mousse; SP : sphaigne) sur le nombre de semis d'épinettes noires à l'hectare ($p < 0,0001$). Les données présentées sont les moyennes détransformées ($x = e^y - 0,5$).

CHAPITRE 4

DISCUSSION

Le projet visait d'abord à déterminer l'influence de la source de semences sur la pluie de graines et l'installation des semis en pessière à lichens. Les graines servant à ensemercer une coupe peuvent provenir de la forêt en bordure de l'aire de coupe ou encore des semenciers résiduels à l'intérieur de l'ouverture créée par la coupe. La récolte ayant été réalisée selon les normes de la coupe avec protection de la régénération et des sols (CPRS) en vigueur au Québec (Gouvernement du Québec, 2003), les semenciers résiduels correspondent en fait à la régénération porteuse de cônes, soit essentiellement des marcottes d'épinettes noires de diamètres non-marchands. À la lueur des résultats obtenus, il est peu probable que ces tiges aient eu un rôle majeur à jouer dans l'ensemencement puisque plus de tiges avec cônes ont été inventoriées en pessière à lichens (PL) alors que la pluie de graines s'est avérée significativement plus importante en pessière à mousses (PM). Même si la quantité de cône par tige et leur contenu n'ont pas été étudiés, il est fort probable que ce soit les peuplements de bordure qui ont eu le plus d'impacts sur l'ensemencement naturel. La régénération pré-établie avec cônes est possiblement trop peu féconde pour participer à l'ensemencement de manière importante, soit par son trop jeune âge ou encore sa dépendance à l'arbre-mère dans le cas des marcottes. Quant aux peuplements de bordure dans les sites d'études, les observations sur le terrain ont démontré qu'ils possédaient

généralement des caractéristiques similaires aux peuplements qui ont été récoltés en termes de maturité, d'espèces et de densité. Les résultats obtenus permettent donc de poser l'hypothèse que les bordures de PM ont contribué davantage en terme de production et dispersion de semences que les bordures de PL étant donné la densité plus forte en semenciers. La hauteur moyenne et la surface terrière plus élevée dans PM ont également pu être des facteurs qui ont contribué à une dispersion de semences plus grande que dans PL. Greene et al. (2002) ont d'ailleurs indiqué que la production de semences serait proportionnelle au produit de la surface terrière et de la lumière disponible. Les auteurs affirment de plus que la hauteur influence la dispersion des semences. Cela conforte l'hypothèse que ce sont les peuplements de bordures qui contribuent le plus à l'ensemencement, et ce peu importe le type de peuplement traité.

Le nombre plus élevé de semenciers résiduels après la coupe en pessière à lichens peut s'expliquer entre autre par les caractéristiques du peuplement initial (avant récolte). En effet, le marcottage est favorisé dans les peuplements de faibles densités (les pessières à lichens par exemple) en raison de la présence de nombreuses branches basses (Viereck et Johnston, 1990). Bien que les résultats ne permettent pas de tirer de conclusions en ce sens, il est probable que les marcottes de PL soient plus âgées que celles dans PM puisque la mortalité y est possiblement réduite étant donné l'oppression qui y est moindre. Les marcottes dans PL pourraient donc être davantage matures et ainsi démontrer un potentiel supérieur dans la production de cônes.

L'approche par ensemencement naturel pour régénérer un peuplement est une avenue intéressante sur le plan économique mais le succès de cette modalité sylvicole est limité par la taille des assiettes de coupes (Greene et Johnson, 1996). La relation négative entre le nombre de graines (ou la quantité de semis) à mesure que l'on s'éloigne d'une lisière boisée a été abondamment étudiée, notamment par Hanssen (2003), Prévost (1997), Hughes et Bechtel (1997) et Greene et Johnson (1996). Prévost (1997) a d'ailleurs observé que la distance par rapport à la lisière boisée expliquait 90 % de la variabilité dans l'établissement des semis et qu'il ne fallait pas dépasser 50 mètres par rapport à une source de semences (lisière boisée, arbres semenciers) afin d'obtenir un coefficient de distribution de la régénération en épinettes noires provenant de la pluie de graines adéquat après récolte. Pothier (2000) a aussi observé une distribution des semis naturels d'épinettes noires après coupe plus uniforme dans des coupes par bandes que dans des coupes de grandes superficies explicable par la distance par rapport à la forêt résiduelle. L'installation abondante des semis dans les coupes pour notre étude s'explique probablement en grande partie par la petite taille des assiettes récoltées. Dans cette optique, la proximité et la quantité de semenciers dans la modalité scarifiage sans coupe en pessière à lichens s'avère une avenue intéressante, d'autant plus que la pluie de graines s'est avérée nettement supérieure que dans la modalité avec coupe.

Même si les graines sont disponibles pour l'ensemencement naturel, l'installation d'un nouveau peuplement sera limitée par les caractéristiques des microsites (Bonnet et al., 2005; Nathan et Muller-Landau, 2000). À l'instar de plusieurs études (Karlsson et al., 2002;

Karlsson et Orlander 2000; Prévost, 1997; Winsa et Bergsten, 1994; Orlander et al., 1990), les résultats du projet font clairement ressortir les avantages d'une préparation de terrain de type scarifiage pour l'installation d'un nouveau peuplement après récolte. Bien que les effets de la préparation de terrain sur la température du sol, la minéralisation des éléments nutritifs et la disponibilité en eau n'ont pas été mesurés dans cette étude, l'effet positif du scarifiage sur l'émergence des semis d'épinette noire et de pin gris a été fortement observé. En pessière à lichens, le nombre de semis d'épinette noire dénombré a été nettement moins élevé dans le milieu non-perturbé par rapport à la pessière à mousses et cette différence s'est estompée avec le scarifiage, ce qui fait ressortir l'importance de la perturbation dans ce type de peuplement en particulier. Les avantages d'une opération de scarifiage sur l'installation des semis d'épinette noire avaient aussi été observés par Prévost et Dumais (2003). Le simple fait de récolter par la coupe avec protection de la régénération et des sols (CPRS) n'a pas été suffisant pour favoriser l'ensemencement puisque le milieu «sentier de débardage» (perturbé) n'a pas eu pour effet de stimuler l'installation de semis par rapport au milieu «inter-sentier» (non-perturbé), autant en pessière à lichens qu'en pessière à mousses.

Le dénombrement des semis dans les milieux perturbé et non-perturbé est une donnée intéressante sur le plan opérationnel, cependant, l'effort d'échantillonnage dans le milieu non-perturbé a été supérieur au milieu perturbé compte tenu des proportions occupées par chacun des milieux, l'objectif principal de la CPRS étant de minimiser la perturbation du sol. Le rapport obtenu en divisant le nombre de semis dénombrés par la

superficie occupée pour chacun des milieux nous renseigne davantage sur la réceptivité des milieux (Groot, 1988; Jarvis et Cayford, 1961). Pour l'épinette noire, la réceptivité du sillon de scarifiage a été nettement plus élevée que celle de l'inter-sillon. L'influence du scarifiage sur l'émergence du pin gris a été encore plus importante avec une réceptivité du sillon de scarifiage largement supérieure par rapport à l'inter-sentier. Ici encore, les résultats font ressortir les avantages d'une perturbation de type scarifiage sur l'ensemencement naturel.

Il faut noter que ce n'est pas le scarifiage en lui-même qui favorise l'émergence des semis mais les substrats favorables qu'il permet d'exposer. Les substrats de germination les plus favorables selon les résultats obtenus (sol minéral mis à nu et matière organique en décomposition) qui ont été exposés suite au traitement de scarifiage correspondent à ceux observés par d'autres auteurs, entre autres pour l'épinette noire (Prévost, 1996) et le pin sylvestre (Oleskog et Sahlen, 2000). Il est probable que la régénération pré-établie éliminée par le scarifiage sera remplacée par l'ensemencement naturel dans les premières années suivant la coupe et la préparation de terrain, comme l'a d'ailleurs observé Prévost (1997) pour l'épinette noire. Il serait donc approprié de coordonner la préparation de terrain avec de bonnes années semencières. Pour l'épinette noire, une forte production de semences se produirait à tous les quatre ans environ (Viereck et Johnstoon, 1990).

Pour évaluer la capacité de régénération des pessières à lichens par rapport aux pessières à mousses, il fallait vérifier si les graines provenant des deux peuplements avaient

le même potentiel germinatif. Comme plusieurs auteurs l'ont noté pour d'autres essences comme *Pinus sylvestris* L. (Walters et Reich, 2000), *Picea mariana* (Mill.) B.S.P. (Skeates et Haavisto, 1995) *Picea Sitka* (Chaisurisri et al., 1994), et *Pinus taeda* L. (Dunlap et Barnett, 1983), la taille des graines a eu un effet positif sur le taux de germination. En fait, ce sont surtout les graines les plus longues qui ont germé, et ce pour les deux types de peuplement étudiés dans ce projet. De plus, aucune différence n'a été notée dans les taux de germination des graines pour les deux peuplements (PM et PL). Cela indique que les graines, qu'on soit en pessière à lichens ou en pessière à mousses, avaient un potentiel germinatif comparable au moment d'arriver au sol. Ce sont les lieux de germination, les substrats et les conditions climatiques qui deviennent alors déterminants sur l'émergence ou non d'un nouveau semis une fois la graine au sol.

Il n'a pas été étonnant de constater que le nombre de semis émergeant dans la modalité scarifiage sans coupe en pessière à lichens (PL_{SC}) s'est avéré fortement supérieur à celle combinant coupe et scarifiage, le nombre de semenciers à proximité étant nettement supérieur sans coupe qu'avec coupe. La double perturbation récolte-scarifiage n'est donc pas un stimulant pour l'ensemencement à court terme puisque le scarifiage seul a permis un nombre de semis émergés beaucoup plus grand. La disponibilité de la lumière au sol réduite dans PL_{SC} par rapport à PL, en raison du couvert arborescent laissé debout, n'est donc pas limitante pour l'installation des semis. Viereck et Johnstoon (1990) affirment d'ailleurs que les semis d'épinette noire peuvent se développer sous des conditions de lumière au sol aussi peu élevées que 10% de l'intensité maximale mais que la survie et la croissance est

supérieure dans des conditions d'ouverture. À la lueur des résultats obtenus, il s'avèrerait justifier d'étudier dans des recherches futures si cette modalité crée des conditions favorables au maintien d'une régénération naturelle, étant donnée la réponse des compétiteurs (éricacées et lichens). Il serait également pertinent de se questionner sur les rendements ligneux qui pourraient être attribuables à une régénération naturelle sous couvert. Une ouverture partielle du couvert accompagnée d'un scarifiage devrait être une avenue à explorer pour cette essence et ainsi permettre une meilleure survie des semis et un contrôle plus efficace de la végétation de compétition, notamment l'envahissement par les lichens et les éricacées. Des modalités de coupe partielle comme la coupe progressive suivi d'un scarifiage pourrait être une avenue intéressante à étudier afin d'assurer une régénération adéquate par graines et contrôler la l'envahissement par les lichens et les éricacées.

Pour ce qui est du pin gris, le nombre de semis ne s'est pas avéré plus élevé dans PL_{SC} par rapport à PL, ce qui laisse supposer que la régénération du pin gris ne dépend pas essentiellement de la densité du couvert arborescent et que les cônes laissés au sol après la coupe suivi d'un été chaud et sec en 2005 ont permis de compenser la récolte d'arbres matures pour cette espèce. La modalité avec coupe s'est même avérée un stimulant pour l'ensemencement naturel de cette espèce.

En ce qui concerne la germination des graines d'épinettes noires en laboratoire, aucune différence dans le taux de germination n'a été détectée entre PL et PL_{SC}. La qualité

des graines n'est donc pas un facteur permettant de statuer sur une modalité sylvicole avec coupe plutôt que sans coupe.

CHAPITRE 5

CONCLUSION

L'étude devait mettre à l'épreuve la pessière à lichens par des interventions sylvicoles de manière à évaluer la possibilité d'un retour à un peuplement dense par l'ensemencement naturel tout en comparant les résultats obtenus avec un peuplement dense de pessière à mousses. L'importance de la lisière boisée en bordure de coupe pour l'ensemencement a été mise de l'avant comme principal élément influençant la pluie de graines. Il a été en effet impossible d'établir une relation entre la quantité de régénération porteuse de cônes après traitement (semenciers résiduels) et la quantité de graines récoltées dans les trappes. La pluie de graines moins importante en pessière à lichens qu'en pessière à mousses ne s'est cependant pas avérée limitative pour l'établissement des semis puisqu'on n'a pas constaté de différence significative dans la quantité de semis émergés entre les deux peuplements. Étant donné que la densification naturelle des pessières à lichens n'a jamais été documentée et que cet écosystème ouvert semble stable dans le temps (Jasinsky et Payette, 2005), la perturbation par scarifiage apparaît essentielle afin d'exposer des substrats de germination favorables à l'installation des semis, autant pour l'épinette noire que pour le pin gris, dans une stratégie de boisement par ensemencement naturel. Quant au potentiel de germination des graines en laboratoire provenant de la pessière à lichens, il ne s'est pas révélé plus faible qu'en pessière à mousses, de sorte que la qualité

des graines issues des pessières à lichens ne s'avère pas un facteur limitatif. La modalité sylvicole qui maintient un couvert en place tout en exposant des lits de germination favorables par un scarifiage serait une avenue à étudier davantage compte tenu de la disponibilité supérieure des semences et du contrôle probable de la végétation de compétition, d'autant plus que l'épinette noire est une espèce qui peut tolérer un certain niveau d'ombrage pour se développer.

Après un an, on peut donc conclure que les résultats suggèrent un potentiel pour l'ensemencement naturel des pessières à lichens de faibles densités suite à une préparation de terrain de type scarifiage. Ce potentiel existe tant pour la modalité sylvicole combinant la coupe et le scarifiage que celle préconisant un scarifiage sous couvert (sans coupe). Cette dernière démontre d'ailleurs un potentiel encore plus grand. Un suivi s'impose maintenant pendant les prochaines années afin d'étudier la mortalité et le recrutement des semis ainsi que de la capacité du lichen et des éricacées à envahir les microsites exposés par le scarifiage et la réaction des semis à cet envahissement.

CHAPITRE 6

RÉFÉRENCES

- Ackzell, L. Natural regeneration on planted clear-cuts in boreal Sweden. *Scand.J.For.Res.* 9, 245-250. 1994.
- Anonyme. Normes de cartographie écoforestière – Troisième inventaire écoforestier. 109 p. 2003.
- Arseneault, P. Effets allélopathiques causés par les lichens fruticuleux terricoles sur *Picea mariana*. Rimouski, Thèse M.Sc., Université du Québec à Rimouski. 1-218. 1978.
- Bergeron, J.F. Domaine de la pessière noire à mousses. In: Bérard, J.A. Coté, M. (Ed). pp. 223-238. 1996.
- Bonnet, V.H., Schoettle, A.W., and Shepperd, W.D. Postfire environmental conditions influence the spatial pattern of regeneration for *Pinus ponderosa*. *Canadian Journal of Forest Research - Revue Canadienne de Recherche Forestiere* 35[1], 37-47. 2005.
- Boucher, J.F., Bernier, and P.Y., Margolis, H.A., Munson, A.D. Growth and physiological response of eastern white pine seedlings to partial cutting and site preparation. *Forest ecology and management* 240, 151-164. 2007.
- Brown, R.T. and Mikola, P. The influence of fruticose soil lichens upon the mycorrhizae seedling growth of forest trees. *Acta For.Fenn* 141, 1-22. 1974.
- Burgar, R.J. The effect of seed size on germination, survival and initial growth in white spruce. *For.Chron.* march, 93-97. 1964.
- Camarero, J.J., Gutiérrez, E., Fortin, M.J., and Ribbens, E. 2005. Spatial patterns of tree recruitment in a relict population of *Pinus uncinata*: forest expansion through stratified diffusion. *J. Biogeography* 32, 1979-1992.
- Chaisurisri, K., Edwards, D.G.W., and El-Kassaby, Y.A. Effects of seed size on seedling attributes in Sitka spruce. *New For.* 8, 81-87. 1994.
- Damman, A. W. H. Effect of vegetation changes on the fertility of a Newfoundland forest site. *Ecology monograph* 3, 253-270. 1971.
- Devore, J. and Peck, R. *Introductory Statistics*. 2nd edition. St. Paul, MN, USA, West Publishing Company. 1994.
- Dunlap, J.R. and Barnett, J.P. Influence of seed size on germination and early development of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) germinants. *Can.J.For.Res.* 13, 40-44. 1983.
- Environment Canada Climatic Normals and Means, years 1971-2000.

- Fisher, R.F. Possible allelopathic effects of reindeer-moss (*Cladonia*) on jack pine and white spruce. *Forest-Science* 25[2], 256-260. 1979.
- Gagnon, R. and Morin, H. Les forêts d'épinette noire du Québec: dynamique, perturbations et biodiversité. *Le Naturaliste canadien* 125, 26-35. 2001.
- Gouvernement du Québec. Règlement sur les normes d'intervention dans les forêts du domaine de l'État. Québec, Gouvernement du Québec. 46 p. 2003.
- Greene, D.F. and Johnson, E.A. Wind dispersal of seeds from a forest into a clearing. *Ecology* 77(2), 595-609. 1996.
- Greene, D.F. and Johnson, E.A. Seed mass and early survivorship of tree species in upland clearings and shelterwoods. *Can. J. For. Res.* 28: 1307-1316. 1998.
- Greene, D.F., Messier, C., Asselin, H., and Fortin, M.J. The effect of light availability and basal area on cone production in *Abies balsamea* and *Picea glauca*. *Canadian Journal of Botany*. 80(4), 370-377. 2002.
- Greene, D.F., Zasada, J.C., Sirois, L., Kneeshaw, D., Morin, H., Charron, I., and Simard, M.J. A review of the regeneration dynamics of North American boreal forest tree species. *Canadian Journal of Forest Research* 29, 824-839. 1999.
- Groot, A. Methods for estimating seedbed receptivity and for predicting seedling stocking and density in broadcast seeding. *Can.J.For.Res.* 18, 1541-1549. 1988.
- Hanssen, K.H. Natural regeneration of *Picea abies* on small clear-cuts in SE Norway. *Forest Ecology and Management* 180(1-3), 199-213. 2003.
- Hébert, F., Boucher, J.F., Bernier, P.Y., and Lord, D. Growth response and water relation of 3-year-old planted black spruce and jack pine seedlings in site prepared lichen woodlands. *Forest Ecology and Management* (223), 226-236. 2006.
- Houle, G. and Filion, L. The effects of lichens on white spruce seedling establishment and juvenile growth in a spruce-lichen woodland of subarctic Quebec. *Ecoscience* 10(1), 80-84. 2003.
- Hughes, J.W. and Bechtel, D.A. Effect of distance from forest edge on regeneration of red spruce and balsam fir in clearcuts. *Can.J.Forest Res.* 27, 2088-2096. 1997.
- ISTA (International Seed Testing Association). International rules for seed testing: rules 1999. *Seed Sci and Technol. Supplement.* 27:1-333. 1999.
- Jarvis, J.M. and Cayford, J.H. Regeneration following various methods of cutting in black spruce stands in Manitoba. *Forest.Chron.* 338-349. 1961.

Jasinski, J.P.P. and Payette, S. The creation of alternative stable states in the southern boreal forest, Quebec, Canada. *Ecological Monographs* 75(4), 561-583. 2005.

JMP, V.5.1. 1989-2005. SAS Institute Inc. ed. Cary, NC.

Karlsson, C. and Orlander, G. Soil scarification shortly before a rich seed fall improves seedling establishment in seed tree stands of *Pinus sylvestris*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15[2], 256-266. 2000.

Karlsson, M., Nilsson, U., and Orlander, G. Natural regeneration in clear-cuts: effects of scarification, slash removal and clear-cut age. *Scandinavian-Journal-of-Forest-Research* 17: 131-138. 2002.

Le Goff H. and Sirois L. Black spruce and jack pine dynamics simulated under varying fire cycles in the northern boreal forest of Québec, Canada. *Canadian journal of forest research* 34, 2399-2409. 2004.

Madec, C. Effet du scarifiage sur l'ensemencement naturel de l'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) dans des pessière noires à lichens. Chicoutimi, Université du Québec à Chicoutimi, Mémoire de maîtrise. 33 p. 2005.

Mallik, A.U. Allelopathic potential of *Kalmia angustifolia* to black spruce (*Picea mariana*). *For.Ecol.Manage.* 20, 43-52. 1987.

Ministère des Ressources naturelles (MRN) Normes d'inventaire forestier. Direction des inventaires forestiers, Forêt Québec. 2002.

Nathan, R. and Muller-Landau, H.C. Spatial patterns of seed dispersal, their determinants and consequences for recruitment. *Trends in Ecology and Evolution* 15, 278-285. 2000.

Oleskog, G. and Sahlen, K. Effects of seedbed substrate on moisture conditions and germination of *Pinus sylvestris* seeds in a clearcut. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15(2), 225-236. 2000.

Orlander, G., Gemmel, P., and Hunt, J. Site preparation: a Swedish overview. B.C. Ministry of Forests., FRDA Report. 105, 1-61. 1990.

Payette, S., Bhiry, N., Delwaide, A., and Simard, M. 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. 2000.

Pothier, D. Ten-year results of strip clear-cutting in Quebec black spruce stands. *Canadian Journal of Forest Research* 30(1), 59-66. 2000.

- Prévost, M. 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[1-3], 219-231. 1997.
- Prévost, M. 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. Forest. Res.* 26, 72-86. 1996.
- Prévost, M. et Dumais, D. Croissance et statut nutritif de marcottes, de semis naturels et de plants d'épinette noire à la suite de scarifiage: résultats de 10 ans. *Canadian Journal of Forest Research* 33[11], 2097-2107. 2003.
- Quinn, G.P. and Keough, M.J. *Experimental design and data analysis for biologists.* Cambridge University Press ed. Cambridge, U.K. 2002.
- Riverin, S. and Gagnon, R. 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. 1996.
- Saucier, J. P., Berger, J. P., D'Avignon, H., and Racine, P. Le point d'observation écologique. Québec, Ministère des Ressources Naturelles du Québec. 1-116. 1994.
- Saucier, J.-P., Bergeron, J.-F., Grondin, P., and Robitaille, A. Les régions écologiques du Québec méridional (3ième version): un des éléments du système hiérarchique de classification écologique du territoire mis au point par le ministère des Ressources naturelles. *L'Aubelle* 124, 1-12. 1998.
- Skeates, D. A. and Haavisto, V. F. Heavier black spruce seeds produce more vigorous seedlings. Sault Ste. Marie, Ont., Can. For. Serv. Great Lakes For. Centre Tech. Note no. 31. 1-4. 1995.
- Thiffault, N., Cyr, G., Prigent, G., Jobidon, R., and Charette, L. 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. 2004.
- Thiffault, N., Titus D., Brian, Munson D., A. Black spruce seedlings in a *Kalmia-Vaccinium* association: microsite manipulation to explore interactions in the field. *Canadian Journal of Forest Research* 34(8), 1657-1668. 2004.
- Valkonen, S. and Maguire, D.A. Relationship between seedbed properties and the emergence of spruce germinants in recently cut Norway spruce selection stands in Southern Finland. *Forest Ecology and Management* 210[1-3], 255-266. 2005.
- Viereck, L.A. and Johnstoon, W.F. *Picea mariana* (Mill.) B.S.P. Black spruce. Dans *Silvics of North America. Vol. 1, Conifers. Agriculture Handbook* 654 . 1990.

Walters, M.B. and Reich, P.B. Seed size, nitrogen supply, and growth rate affect seedling survival in deep shade. *Ecology* 81: 1887-1901. 2000.

Wang, G.G. and Kembell, K.J. Balsam fir and white spruce seedling recruitment in response to understory release, seedbed type, and litter exclusion in trembling aspen stands. *Canadian Journal of Forest Research* 35(3), 667-673. 2005.

Winsa, H. and Bergsten, U. Direct seeding of *Pinus sylvestris* using microsite preparation and invigorated seed lots of different quality: 2-year results. *Canadian Journal of Forest Research* 24(1), 77-86. 1994.

Yamasaki, S. H., Fyles, J. W., Titus, B. D. Interactions 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(12), 2215-2224. 2002.

Zasada, J.C. , Sharik, T.L., and Nygren, M. The reproductive process in boreal forest trees. A systems analysis of the global boreal forest. 85-125. 1992.

Zasada, J.C., Viereck, L.-A., and Foote, M.J. Black spruce seedfall and seedling establishment. Ecological effects of the Wickersham Dome fire near Fairbanks, Alaska. 1979.