UNIVERSITÉ DU QUÉBEC EN ABITIBI-TÉMISCAMINGUE

EFFET DU PEUPLIER FAUX-TREMBLE (*POPULUS TREMULOIDES* MICHX) SUR LA CROISSANCE DE L'ÉPINETTE NOIRE (*PICEA MARIANA* (MILL.) BSP) ET SUR LA COMPOSITION, LE RECOUVREMENT ET LA DIVERSITÉ DES ESPÈCES DE LA STRATE DE SOUS-BOIS DANS DE JEUNES PESSIÈRES

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN BIOLOGIE
EXTENSIONNÉE DE
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

PAR

ÉLISA MORIN

MAI 2007

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je voudrais remercier mes directeurs de recherche Yves Bergeron et Alain Leduc pour leur patience, leur soutien et leurs conseils tout au long de ma Maîtrise. Je remercie également Sonia Légaré pour la mise en place de ce projet et pour m'avoir fait confiance lors du passage du flambeau ainsi que pour son support plus que moral répondant à mes angoisses existentielles. Merci à Ellen Macdonald pour ses conseils lors de l'écriture du proposé de projet.

Cette recherche n'aurait pu voir le jour sans le financement apporté par le Conseil de Recherche en Sciences Naturelles et Génie (projet stratégique), la Chaire industrielle en Aménagement Forestier Durable CRSNG-UQAT-UQAM, le Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune du Québec (Programme action concerté- Fond forestier), Tembec et la Fondation de l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue.

Je tiens à remercier Marie-Hélène Longpré, Nicole Fenton et Hugo Asselin pour avoir trouvé des réponses à mes questions... farfelues ou non! La récolte de données sur le terrain fut facilitée par tout le personnel du camp Wawagosic de Tembec ainsi que par Sonia Légaré, Danielle Charron, Jean-Marc Saint-Amant, Suzie Rollin, Sandra Brutus, Élisabeth Turcotte, Anaïs Peuch-Lestrade, Marie-Ève Tousignant, Marie-Joëlle Touma, Ana Maria Martins Rufino et Marjorie Gobeil qui ont tous mis la main à la pâte! J'aimerais donner une mention spéciale aux anti-histaminiques, qui m'ont permis de passer au travers sans y laisser ma peau!

Mes remerciements vont tout particulièrement à Christian, Charles, Marie-Ève, Marc-Antoine, Simon, Nicole, Hugo, Violaine, Émilie et Sébastien : vous avez été ma vie abitibienne! Merci également à ma famille pour l'encouragement.

Enfin, un merci plus que spécial à Thomas Joly-Mischlich, mon amoureux, pour avoir cru en notre relation malgré les deux années et demie à distance et pour m'avoir apporté le plus important support moral en passant plusieurs heures au téléphone!

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX.....vi

LISTE DES FIGURES.....viii

LISTE DES ANNEXES.....ix

RÉSUMÉ.....x

INTRODUCTION GÉNÉRALE.....1

CHAPITRE 1 : EFFET DES VARIATIONS DE DENSITÉ DE PEUPLIERS FAUX-TREMBLE SUR LA CROISSANCE DE L'ÉPINETTE NOIRE.....3

1.1 INTRODUCTION.....3

1.2 MATÉRIEL ET MÉTHODES.....7

1.2.1 Aire d'étude.....7

1.2.2 Plan d'échantillonnage.....8

1.2.3 Échantillonnage de la croissance de l'épinette.....9

1.2.4 Caractérisation du sol.....9

1.2.5 Analyses statistiques.....10

1.3 RÉSULTATS.....12

1.3.1 Croissance de l'épinette noire selon un gradient naturel de présence de peupliers.....12

1.3.2 Croissance de l'épinette noire selon un gradient de rétention de peupliers.....14

1.4 DISCUSSION.....15

1.4.1 Croissance de l'épinette noire selon un gradient naturel de présence de peupliers.....15

1.4.2 Croissance de l'épinette noire selon un gradient de rétention de peupliers.....15

1.5 CONCLUSION.....17

CHAPITRE 2 : EFFET DE LA VARIATION DE L'ABONDANCE DU PEUPLIER FAUX-TREMBLE SUR LA COMPOSITION, LE RECOUVREMENT ET LA DIVERSITÉ DES ESPÈCES DE LA STRATE DE SOUS-BOIS....18
2.1 INTRODUCTION....18
2.2 MATÉRIEL ET MÉTHODES....21
2.2.1 Aire d'étude....21
2.2.2 Plan d'échantillonnage....22
2.2.3 Échantillonnage du sous-bois....23
2.2.4 Caractérisation du sol....23
2.2.5 Analyses statistiques....24
2.3 RÉSULTATS....26
2.3.1 Effet du peuplier faux-tremble sur la composition de la strate de sous-bois....26
2.3.2 Effet du peuplier faux-tremble sur le recouvrement des espèces de sous-bois....30
2.3.3 Effet du peuplier faux-tremble sur la diversité de la strate de sous-bois....31
2.4 DISCUSSION....33
2.4.1 Effet du peuplier faux-tremble sur la composition en espèces de la strate de sous-bois....33
2.4.2 Effet du peuplier faux-tremble sur le recouvrement et la diversité de la strate de sous-bois....33
2.5 CONCLUSION....35

CONCLUSION GÉNÉRALE....36
ANNEXES....38
BIBLIOGRAPHIE....45

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Nombre total de tiges à l'hectare des essences commerciales des blocs d'échantillonnage avant (2003) et après (2004) l'éclaircie précommerciale.....9

Tableau 1.2 : Taille moyenne (m) des arbres dans les blocs d'échantillonnage avant l'éclaircie précommerciale (2003) 9

Tableau 1.3 : Régression multiple de l'indice de performance en fonction des variables environnementales.....12

Tableau 1.4 : Régression pas à pas de l'indice de performance en fonction des variables environnementales incluant la surface terrière de peupliers faux-tremble (m^2/ha) 12

Tableau 1.5 : Régression linéaire simple de la capacité d'échange cationique (CEC (cmol(+)/kg)) en fonction de la surface terrière de peupliers (m^2/ha).....13

Tableau 1.6 : ANOVA de l'indice de performance de croissance en fonction du traitement ou non des parcelles expérimentales.....14

Tableau 2.1 : Nombre total de tiges à l'hectare des essences commerciales des blocs d'échantillonnage avant (2003) et après (2004) l'éclaircie précommerciale...23

Tableau 2.2 : RDA, par sélection pas à pas des variables, du recouvrement en espèces du sous-bois en relation avec la surface terrière de peupliers faux-tremble (m^2/ha) avant traitement et les données environnementales....30

Tableau 2.3 : RDA, par sélection pas à pas des variables, du recouvrement en espèces du sous-bois des blocs 1 et 3 en relation avec la surface terrière de peupliers faux-tremble (m^2/ha) avant traitement et les données environnementales.....30

Tableau 2.4 : RDA du recouvrement des espèces de sous-bois après traitement en fonction des variables environnementales 31

Tableau 2.5 : RDA partielle du recouvrement des espèces de sous-bois après traitement en fonction de l'année de traitement et du traitement. Les données environnementales sont utilisées comme covariable 31

Tableau 2.6 : RDA partielle du recouvrement des espèces de sous-bois des blocs 1 et 3 après traitement en fonction de l'année de traitement et du traitement. Les données environnementales sont utilisées comme covariable 31

Tableau 2.7 : Régression linéaire simple de l'indice de diversité de Shannon en fonction de la surface terrière de peupliers (m^2/ha) avant traitement 31

Tableau 2.8 : Régression linéaire simple de l'équitabilité en fonction de la surface terrière de peupliers (m^2/ha) avant traitement.....32

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Localisation de l'aire d'étude en Abitibi-Témiscamingue, au nord-ouest du Québec.....7

Figure 1.2 : Capacité d'échange cationique (CEC (cmol(+)/kg)) en fonction de la surface terrière de peupliers (m^2/ha) avant traitement (année 2003). Y = 0.0008x – 0.0026 (R^2 =0.2086, ρ = 0.0016) (Résultats présentés dans le tableau 1.5).....13

Figure 2.1 : Localisation de l'aire d'étude en Abitibi-Témiscamingue, au nord-ouest du Québec.....21

Figure 2.2 : CCA effectuée à partir des données récoltées avant traitement (été 2003) mettant en relation la position des placettes expérimentales selon les données environnementales. Les numéros 1, 2 et 3 correspondent au bloc de provenance de la placette expérimentale.....27

Figure 2.3 : CCA effectuée à partir des données récoltées avant traitement (été 2003) mettant en relation les espèces de sous-bois selon les données environnementales (code des espèces annexe5).....28

Figure 2.4 : Déplacement des placettes expérimentales selon la composition du sous-bois lors des trois années d'échantillonnage en utilisant les coordonnées des deux premiers axes obtenus suite à une CCA. Le premier segment de flèche correspond au déplacement 2003-2004, l'année du traitement, et le deuxième au déplacement 2004-2005, les deux années soumises au traitement. Les flèches en ligne non continue représentent les parcelles témoin (code des espèces annexe 5).....29

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 Plan de répartition des parcelles expérimentales : Bloc 1.

Annexe 2 Surface terrière (m^2/ha) et quantité de peupliers faux-tremble présente dans les parcelles expérimentales avant et après l'exécution de l'éclaircie précommerciale.

Annexe 3 Élongation moyenne (cm) des épinettes noires en 2002-2003 en fonction de la taille en 2002 (cm).

Annexe 4 Corrélation de chacune des variables environnementales en fonction de la surface terrière de peuplier faux-tremble (m^2/ha) avant le traitement.

Annexe 5 Recouvrement moyen des espèces de sous-bois par bloc pour les trois années d'échantillonnage.

Annexe 6 Recouvrement moyen total des espèces de sous-bois par bloc pour les trois années d'échantillonnage.

RÉSUMÉ

L'effet de la rétention variable du peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx) sur la croissance de l'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) BSP) ainsi que sur le recouvrement, la composition et la diversité des espèces de la strate de sous-bois est évalué dans ce mémoire. Les bénéfices en termes de transmission de la lumière et d'enrichissement de la litière qu'entraîne la présence de peuplier faux-tremble dans un peuplement pourraient influencer positivement la croissance de l'épinette noire. Par contre, la croissance rapide du peuplier limite celle d'autres espèces d'arbres à ses côtés, en particulier les essences à croissance plus lente comme l'épinette noire. Pour les sylviculteurs il est donc important de trouver quelle densité de peupliers doit être maintenue dans le parterre de coupe pour contrecarrer les impacts négatifs du conifère sur le cycle des éléments nutritifs et la productivité du peuplement. Une quantité adéquate de feuillus constituerait un équilibre entre les effets positifs sur le sol favorisant la croissance de l'épinette et les effets négatifs découlant de la possibilité de compétition pour les ressources entre les deux espèces.

Un dispositif expérimental a été mis en place en Abitibi-Témiscamingue où les mesures dendrométriques prises sur les épinettes ont permis d'évaluer les variations de croissance rencontrées chez les jeunes conifères (environ 20 ans) selon un gradient naturel de présence de peuplier faux-tremble dans le milieu. Ensuite, par l'emploi d'une éclaircie précommerciale, un gradient de rétention du peuplier a été produit dans les parcelles expérimentales (n = 45) afin d'évaluer selon quelles proportions la présence du feuillu peut être bénéfique pour la croissance du résineux. Ainsi, quatre densités résiduelles différentes de tiges de peuplier par hectare ont été créées : 0, 65, 130 et 195 tiges/hectare. Les résultats d'études antérieures proposent qu'à l'échelle du peuplement, le volume marchand total des épinettes matures est augmenté par la présence de peupliers dans des proportions plus basses que 41% de la surface terrière totale. Qu'en est-il pour des jeunes peuplements? L'effet positif du peuplier faux-tremble peut-il déjà se faire ressentir après une vingtaine d'années? Il semble que le peuplier aurait un effet facilitant sur les composantes du sol affectant ainsi positivement la croissance de l'épinette noire. Par contre, l'absence de compétition entre les arbres avant l'application de l'éclaircie précommerciale n'a pu mettre en évidence un impact du gradient de rétention du feuillu sur la croissance du conifère.

L'épinette noire n'est probablement pas la seule espèce à pouvoir profiter des effets positifs de la présence de peupliers dans le peuplement. Ainsi, le deuxième volet de l'étude porte sur l'effet de la densité variable du peuplier sur la composition, le recouvrement et la diversité de la strate de sous-bois. Des relevés de pourcentage de recouvrement (8 quadrats de 1m x 1m/ parcelle) des espèces bryophytes et vasculaires (incluant toutes celles mesurant moins de 1m de hauteur) ont été effectués dans les parcelles expérimentales (n = 45). Il est donc possible de déterminer si les espèces du sous-bois ont été influencées par la plus grande quantité de lumière

qualité et la quantité de litière au sol. Étant donné la récupération du milieu face aux activités forestières antérieures, à court terme, la strate inférieure n'a démontré aucune réaction en termes de composition, de recouvrement ou de diversité face au changement de présence de peuplier faux-tremble dans le milieu.

À long terme, les effets positifs ou négatifs de la coexistence entre différentes quantités de peupliers faux-tremble, l'épinette noire et les espèces de sous-bois pourront être observés grâce au dispositif expérimental mis en place.

Mots clés : Épinette noire, Peuplier faux-tremble, croissance, sous-bois.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Depuis plusieurs années, l'industrie forestière occupe une place importante dans l'économie du Québec. Suite à la mécanisation des opérations de sylviculture, il s'est développé une conscientisation du caractère renouvelable mais limité de la forêt boréale d'où découle un intérêt grandissant pour les impacts de l'aménagement forestier sur l'ensemble des composantes biotique et abiotique de la forêt. Des efforts sont également déployés pour mettre au point des procédés d'exploitation qui permettront une utilisation à long terme de la forêt en tant qu'entité naturelle. Des termes comme « aménagement écosystémique » et « conservation biologique des forêts aménagées » deviennent alors à l'ordre du jour.

Le présent projet s'insère dans l'optique de la diversification des pratiques forestières et vise la compréhension des effets de la manipulation de la composition forestière sur la biodiversité des espèces végétales et la croissance des espèces arborescentes. Tout d'abord, il est connu que le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx) augmente la disponibilité des éléments nutritifs en changeant les propriétés chimiques des horizons superficiels du sol (Van Cleve *et al.*, 1983) et que sa canopée, en comparaison avec les espèces de fin de succession, favorise la transmission de lumière (Messier *et al.*, 1998). Il pourrait en résulter des effets positifs sur la croissance des autres espèces végétales qui l'entourent. Par contre, le peuplier est très envahissant lorsqu'il colonise un milieu et sa croissance relativement rapide peut limiter celle d'autres espèces d'arbres à ses côtés (Perterson et Perterson, 1992), en particulier les essences à croissance lente comme l'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) BSP). La solution ne se résume donc pas à éliminer complètement toutes les tiges de peuplier présentes dans un parterre de coupe. Il s'agirait plutôt de trouver quelle quantité doit être maintenue dans le peuplement pour diminuer les impacts négatifs de l'épinette noire sur le cycle des éléments nutritifs et la productivité du peuplement. Une bonne quantité de feuillus constituerait à optimiser

constituerait à optimiser entre les effets positifs sur le sol tout en minimisant les effets négatifs découlant de la compétition pour les ressources.D'ailleurs, il a déjà été proposé qu'à l'échelle du peuplement le volume marchand total est augmenté par la présence de peupliers dans des proportions inférieures à 41% de la surface terrière totale (Légaré *et al.*, 2004). Qu'en est-il pour des jeunes peuplements? L'effet positif du peuplier faux-tremble peut-il déjà se faire ressentir après une vingtaine d'années?

Ce projet aborde également l'impact de la manipulation de la quantité de peupliers sur le recouvrement, la composition et la diversité des espèces de la strate de sous-bois. Les bénéfices en termes de transmission de lumière et d'enrichissement de la litière qu'entraîne la présence du peuplier dans un peuplement ne sont certainement pas qu'avantageux pour l'épinette. Comprendre les effets de la manipulation de la composition de la strate supérieure sur la végétation de sous-bois permet de prédire les conséquences des activités d'aménagement sur la diversité des espèces de plantes : une considération importante dans l'optique du succès de la conservation biologique des forêts aménagées.

CHAPITRE 1

EFFET DES VARIATIONS DE DENSITÉ DE PEUPLIERS FAUX-TREMBLE SUR LA CROISSANCE DE L'ÉPINETTE NOIRE

1.1 INTRODUCTION

L'aménagement mixte des forêts présente certains avantages en comparaison avec les monocultures. Parmi ces derniers, la protection contre des épidémies d'insectes et de maladies (Su *et al.*, 1996; Cappucino *et al.*, 1998), la résistance au vent, aux dommages et à d'autres stress abiotiques, pour la réduction de la croissance compensatoire (i.e., si l'une des espèces succombe à un facteur, les autres pourraient survivre et répondre avec une augmentation de croissance) ainsi que pour la conservation de l'esthétique du paysage et des espèces animales et végétales indigènes (Kelty, 1992) ont été observés. Man et Lieffers (1999) ont d'ailleurs spéculé qu'un peuplement composé de feuillus intolérants à l'ombre (peuplier, bouleau) et de conifères tolérants (sapin, épinette) serait plus productif au cours d'une rotation qu'un peuplement pur de chaque espèce. Selon ces auteurs, le rendement supérieur des peuplements mixtes serait attribuable à un partage des ressources entre les arbres découlant de leurs dissemblances en termes de hauteur, de forme, d'efficacité photosynthétique foliaire, de phénologie (comme le temps de production de feuillage et la durée de l'activité photosynthétique) et de profondeur de distribution du système racinaire dans le sol (Ellern *et al.*, 1970; Hill et Shimamato, 1973; Trenbath et Harper, 1973). En possédant ces différences physiologiques, qui témoignent d'une occupation de niches écologiques distinctes, les espèces peuvent cohabiter dans le même milieu en réduisant la compétition interspécifique et utiliser les ressources de leur habitat plus efficacement que dans une monoculture (Vandermeer, 1989).

À première vue, le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx) ne semble pas posséder des caractéristiques compatibles avec celles de l'épinette noire *Picea*

mariana (Mill.) BSP) pour former des peuplements mixtes plus productifs que des peuplements purs du conifère. Le peuplier est tout d'abord considéré comme une essence très bien adaptée aux conditions après perturbations. Son caractère très envahissant lors de la colonisation d'un milieu ouvert et sa croissance relativement rapide limitent celle d'autres espèces d'arbres à ses côtés (Peterson et Peterson, 1992), en particulier les essences à croissance lente comme l'épinette noire. L'envahissement qu'il fait alors des parterres de coupe nécessite des opérations de dégagement des jeunes conifères, comme l'éclaircie précommerciale, pour réduire la compétition qu'il occasionne aux essences résineuses et empêcher une diminution de leur productivité dans le peuplement.

Certains faits laissent par contre croire que les deux espèces pourraient cohabiter dans le même peuplement d'une façon efficace. Les écarts de leur tolérance à l'ombre et de leurs phénologies suggèrent l'utilisation de niches écologiques différentes par les deux espèces. En effet, l'épinette noire garde son feuillage toute l'année et peut bénéficier de l'absence de celui du peuplier au printemps et à l'automne pour accomplir une meilleure croissance résultant de l'absence ou la diminution de la compétition pour la lumière (Constabel et Lieffers, 1996), l'eau et les nutriments. Il semblerait également que les peuplements dominés par des espèces intolérantes (caduques ou conifères) transmettent plus de lumière que ceux dominés par des espèces conifères tolérantes (Messier *et al.*, 1998). De plus, Strong et La Roi (1983) ont noté une distinction de la répartition verticale des racines fines des deux espèces dans le sol. Les racines du conifère seraient peu volumineuses et distribuées à la surface du sol en comparaison avec celles du feuillu possédant un volume plus important et s'enfonçant plus profondément dans la terre.

Outre leurs niches écologiques distinctes, qui diminuent la compétition interspécifique, il pourrait exister des mécanismes de facilitation entre les deux espèces, c'est-à-dire que la présence du peuplier pourrait positivement affecter la

croissance de l'épinette (Vandermeer, 1989). Les peuplements d'épinettes noires sont d'ailleurs reconnus pour leur faible taux de décomposition de la matière organique immobilisant les éléments nutritifs et diminuant le pH du sol forestier (Alban, 1982). L'épaisse couche de matière organique, principalement composée de sphaignes, qui se développe en absence de feux de forêts, résulte de la litière acide que génèrent ces peuplements et dont les propriétés chimiques représentent une barrière à la décomposition microbienne (Flannagan et Van Cleve, 1983). Il est alors suggéré que la présence de feuillus dans un peuplement de conifères pourrait palier à cette problématique. Étant donné un plus grand contenu en nutriments, des concentrations en polyphénols et en lignine plus basses et un ratio surface/poids plus élevé, les feuillus, en raison de leurs feuilles larges, décomposent la matière organique habituellement plus rapidement que les aiguilles de conifères et assurent un recyclage rapide des nutriments (Perry *et al.,* 1987). Ceci implique que le cycle des nutriments pourrait être accéléré et la productivité du peuplement améliorée en gardant une certaine proportion de feuillus dans les peuplements de conifères. Selon les résultats de plusieurs études proposant que le peuplier faux-tremble accélère le cycle des éléments nutritifs en raison de son caractère exigeant en termes de nutrition et de la qualité de sa litière (Van Cleve et Noonan ,1975; Bockheim *et al.,* 1991; Alban et Pastor, 1993; Paré et Bergeron 1996; Légaré *et al.*, 2005), on peut escompter un effet positif découlant du maintien d'une quantité résiduelle de feuillus au sein de peuplement de conifères.En effet, il a été démontré que lorsque le peuplier faux-tremble couvre de 0 à 40% de la surface terrière du peuplement, il en découle un effet positif sur le diamètre et la hauteur de l'épinette noire. Il semblerait également qu'une présence de 5 à 15% de peupliers en surface terrière est suffisante pour obtenir un plus grand volume d'épinette noire par tige, (Légaré *et al.*, 2004). Ces derniers résultats ont été obtenus dans des peuplements matures âgés d'environ 80 ans. Qu'en est-il dans des jeunes peuplements? L'effet positif du peuplier faux-tremble peut-il déjà se faire ressentir dès le début du peuplement? Quelle proportion de peupliers doit être maintenue dans le jeune peuplement pour diminuer les impacts

négatifs de l'épinette noire sur le cycle des éléments nutritifs et la productivité du peuplement. Une juste quantité de feuillus constituerait un équilibre entre les effets positifs sur le sol favorisant la croissance de l'épinette et les effets négatifs découlant de la possibilité de compétition pour les ressources entre les deux espèces.

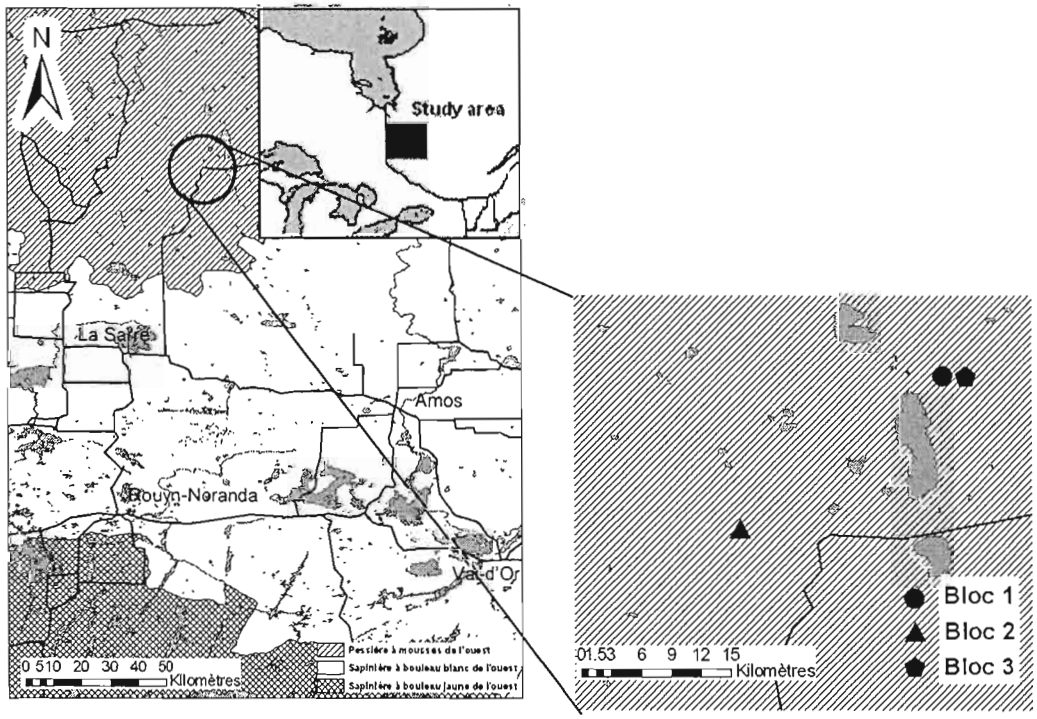
L'effet de la variation de la quantité de peupliers faux-tremble sur la croissance de l'épinette noire a donc été évalué dans ce projet grâce à un dispositif expérimental où le conifère croît tout d'abord selon un gradient naturel et ensuite selon un gradient imposé de présence du feuillu. Tel que mentionné plus haut, il est connu que la présence de peuplier dans un peuplement améliore la transmission de la lumière et enrichit la litière. Ce dernier énoncé est à la base des hypothèses émises dans ce projet proposant qu'il y aura une meilleure croissance de l'épinette en présence de peuplier dans le milieu tout d'abord selon un gradient naturel (la proportion naturelle présente dans le peuplement avant l'expérimentation) de rétention du feuillu et également selon un gradient imposé (obtenu suite à une éclaircie précommerciale).

1.2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

1.2.1 Aire d'étude

L'étude se déroule dans le domaine de la pessière à mousse en Abitibi-Témiscamingue (Grondin 1996) (latitude : de 49°21'32.8''N à 49°29'54.4''N; longitude : de 78°39'07.3''W à 78°51'13.6''W) (figure 1.1) et couvre une partie de la Ceinture d'argile (Clay Belt) du Québec et de l'Ontario, une grande région physiographique créée par les dépôts lacustres de l'expansion maximale du lac proglaciaire Ojibway-Barlow au post-Wisconsin (Vincent et Hardy, 1977). La station météorologique à proximité est située à Joutel et une température annuelle moyenne de 0,1°C et une moyenne de précipitations annuelles totales de 892,2 mm y sont enregistrées (Environnement Canada, 1993).

Figure 1.1. Localisation de l'aire d'étude en Abitibi-Témiscamingue, au nord-ouest du Québec.



1.2.2 Plan d'échantillonnage

Trois blocs expérimentaux ont été localisés, à l'été 2003, dans l'unité d'aménagement 85-51 de la compagnie Tembec sur des superficies dominées par l'épinette noire, mais incluant une présence hétérogène de peupliers faux-tremble (PET), possédant un type de dépôt (argile), de drainage (mésique) (Brais et Camiré, 1992), une pente (faible) et un temps depuis la dernière perturbation comparables. Le premier et le troisième bloc, situés dans le canton Estrades, constituent des peuplements en régénération naturelle issus d'une coupe totale ayant eu lieu en 1986. Le dernier feu survenu dans le secteur date de 1916. De son côté, le peuplement du deuxième bloc se trouve dans le canton Bacon. La végétation d'origine y a subis une coupe totale en 1987 ainsi qu'une préparation de terrain par scarifiage et un reboisement en épinette noire en 1988.

Chaque bloc, d'une superficie d'environ trois hectares, contient 15 parcelles circulaires d'échantillonnage de 7m de rayon. Un traitement ou un gradient imposé a été associé à chacune d'elles par un tirage aléatoire. Ainsi, trois parcelles par bloc se sont vues attribuer les traitements soit de témoin (aucun traitement), 0 tige de PET/ha, de 65 tiges de PET/ha, de 130 tiges de PET/ha ou de 195 tiges de PET/ha (annexe 1). Le nombre de peupliers résiduels dans la parcelle était obtenu par une éclaircie précommerciale effectuée en septembre 2003.

Avant l'exécution des travaux sylvicoles, chaque tige d'essence commerciale a été cartographiée dans chacune des 45 placettes circulaires à l'aide d'un ruban à mesurer et d'une boussole. Le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) et la hauteur de chaque tige ont été mesurés et notés. La hauteur était obtenue avec un ruban gradué ou un

clinomètre selon la hauteur de l'arbre. Le gradient naturel de présence du peuplier faux-tremble avant le traitement dans chacune des parcelles était donc connu de cette façon. Ce même travail fût exécuté à nouveau l'été suivant pour visualiser la disposition des arbres résiduels dans les parcelles suite à l'éclaircie précommerciale (annexe 2).

Tableau 1.1 Nombre total de tiges à l'hectare des essences commerciales des blocs d'échantillonnage avant (2003) et après (2004) l'éclaircie précommerciale.

Bloc	Nombre total tiges à l'hectare	
	2003	2004
1	5211	2524
2	3208	2198
3	6734	3503

Tableau 1.2 Taille moyenne (m) des arbres dans les blocs d'échantillonnage avant l'éclaircie précommerciale (2003).

Bloc	Hauteur moyenne (m)
1	1,74
2	2,05
3	1,80

1.2.3 Échantillonnage de la croissance de l'épinette

Dix épinettes par placette ont été choisies aléatoirement pour effectuer les mesures de croissance (450 épinettes au total). Sur chaque arbre à échantillonner, la hauteur totale et la longueur des 4 derniers verticilles ont été récoltées à l'aide d'un ruban à mesurer ou d'une tige de mesureur, selon le cas.

1.2.4 Caractérisation du sol

Avant l'exécution de l'éclaircie précommerciale, un pédon a été creusé au centre de chacune des placettes expérimentales (45 pédons en tout) à des fins de classification des sols et quatre échantillons de l'horizon FH de même que des premiers 10 cm de l'horizon B ont été récoltés aléatoirement, groupés par horizon, tamisés et analysés

en laboratoire. Le pH de l'humus a été déterminé dans l'eau bidistillée (McKeague 1976). Le calcium, le magnésium et le potassium (Ca, Mg et K) échangeables dans l'humus et le sol minéral ont été obtenus par spectrophotométrie d'absorption atomique après avoir été extraits par une solution de $BaCl_2$ 0,1 M (Hendershot *et al.*, 1993). La capacité d'échange cationique (CEC) et la réserve en azote du sol ont également été analysés tout comme l'azote total qui a été mesuré par combustion à l'aide d'un appareil CNS-analyser (LECO Instruments Limited). La texture dans le sol minéral a été déterminée par analyse granulométrique (McKeague, 1976). Finalement, afin de réduire les doutes quant à la relation de la croissance des arbres avec le régime hydrique dans les parcelles, la profondeur de la zone oxydée du sol a été mesurée. Pour ce faire, trois tiges d'acier (120 cm) ont été disposées en triangle à environ un mètre du centre de la placette expérimentale et laissées dans le sol (profondeur de 90cm) pour une période de trois mois. À la fin de la période d'exposition, les tiges d'acier ont été retirées avec des clés à mollette et les différentes zones de couleur correspondant à « orange-brun » ou « noire » ont aussitôt été distinguées avec du ruban adhésif. La profondeur de la zone d'oxydation dans le sol a alors été obtenue en mesurant la distance entre la surface du sol et les zones de rouille (Carnelle et Anderson, 1986).

1.2.5 Analyses statistiques

Indice de performance

Les mesures de croissance apicale correspondant aux années 2004 et 2005 ont été additionnées pour chaque arbre et serviront à décrire les performances de croissance après traitement. De même, les croissances apicales des années 2002 et 2003 ont été additionnées afin de décrire les performances de croissance avant traitement. L'indice de performance de croissance est calculé en comparant la croissance de chaque arbre avec celle obtenue s'il avait crût selon un modèle optimal de croissance développé à partir des meilleurs arbres soit ceux appartenant au 70^e percentile et plus

d'élongation de chaque classe de taille des tiges (< de 0,50m, 0,51m-0,99m, 1m-1,24m, 1,25m-1,49m, 1,50m-1,99m, 2m-2,49m et 2,5m et plus) tous blocs d'échantillonnage confondus (annexe 3). La taille de tiges était celles précédant les années de croissance soit la fin 2003 pour les performances enregistrées après traitement et le début 2002 pour les croissances avant traitement. La moyenne des trois meilleures performances de croissance par placette était finalement calculée pour n'obtenir qu'une seule valeur par parcelle expérimentale.

Croissance de l'épinette selon un gradient naturel de présence de peupliers

Afin de contrôler pour la variabilité liée au microenvironnement sur la croissance, une régression multiple a tout d'abord été ajustée entre l'indice de performance décrit plus haut et les variables du sol minéral (carbone et azote, % d'argile et % de limon). Le choix des variables environnementales s'est fait à partir des données obtenues suite aux diverses analyses de caractérisation du sol qui sont indépendantes de la présence de peupliers. Une régression pas à pas a ensuite été effectuée pour inclure la surface terrière de peupliers (m^2/ ha) dans le modèle.

Croissance de l'épinette noire selon un gradient de rétention de peupliers

Le modèle précédemment obtenu de l'indice de performance avant traitement en fonction des données environnementales a été utilisé comme indice de qualité de site pour contrôler la variabilité liée au microenvironnement. Cet indice a alors servi de covariable dans une analyse de variance (ANOVA) mettant en relation l'indice de performance de croissance après traitement et l'application ou non du traitement. Les analyses statistiques ont été exécutées avec le logiciel SAS (SAS Institute Inc., Cary, N.C.) et le seuil de signification a été fixé à 0,05.

1.3 RÉSULTATS

1.3.1 Croissance de l'épinette selon un gradient naturel de présence de peupliers

Les variables environnementales expliquent près de 48% de la variation en croissance chez les épinettes (tableau 1.3 et 1.4). Bien que la surface terrière de peupliers n'explique que 3% supplémentaires de la variabilité, elle est apparue avoir une influence positive sur la croissance de l'épinette noire. Son degré de signification statistique étant de 0,1185 n'est cependant pas significatif au seuil de 0,05. On peut en conclure que la surface terrière de peuplier exerce une légère influence positive sur la croissance de l'épinette noire.

Tableau 1.3. Régression multiple de l'indice de performance en fonction des variables environnementales.

Variable	Coefficient	P
Ordonnée	3,7992	0,001
% Argile	-0,449	0,0004
% Limon	-0,0397	0,0016
%C couche minérale	-0,2151	< 0,0001
%N couche minérale	5,7299	< 0,0001
R^2 ajusté	0,4793	< 0,0001

Tableau 1.4. Régression pas à pas de l'indice de performance en fonction des variables environnementales incluant la surface terrière de peupliers faux-tremble (m^2/ ha).

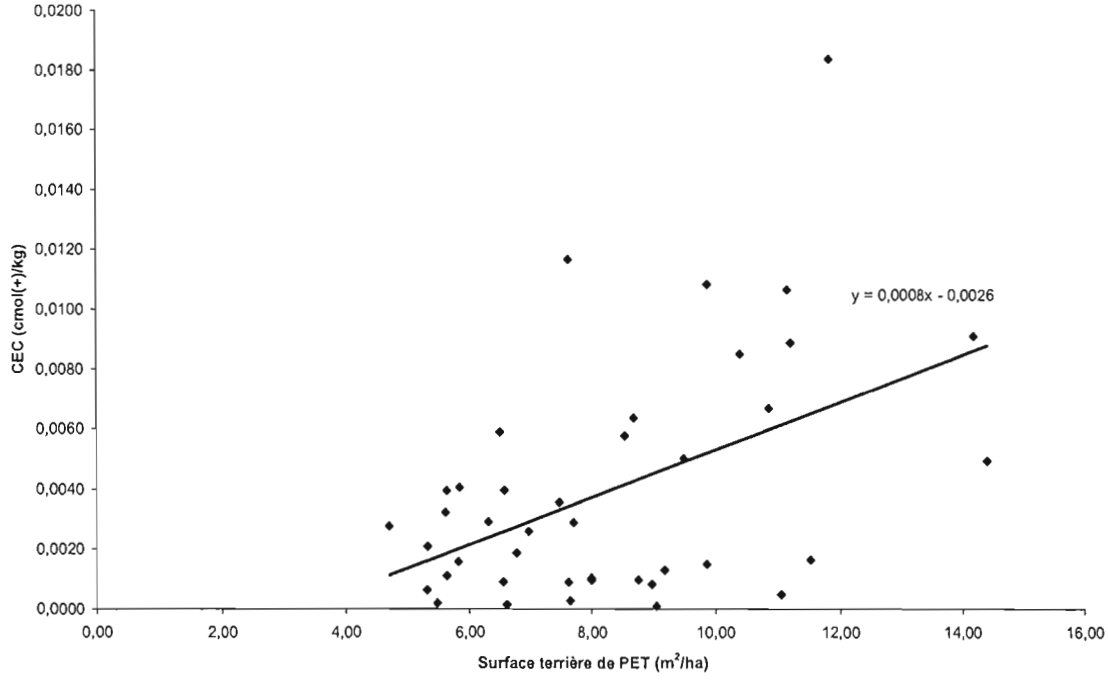
Ordre d'entrée	Variable	Coefficient	R^2 partiel	R^2 du modèle	ρ
	Ordonnée	3,3965			0,0031
1	% argile	-0,0413	0,1190	0,1190	0,0010
2	% C couche minérale	-0,2184	0,1082	0,2272	< 0,0001
3	% N couche minérale	5,8409	0,1565	0,3837	< 0,0001
4	% Limon	-0,0355	0,1464	0,5301	0,0045
5	Surface terrière PET	8,1937	0,0312	0,5612	0,1185
	R^2 ajusté	0,5003			< 0,0001

Selon une régression linéaire simple de la capacité d'échange cationique (CEC cmol(+)/kg)) de l'horizon organique en fonction de la surface terrière de peupliers (m^2/ha), l'augmentation de la quantité de peupliers dans le milieu entraîne une augmentation de la CEC (R^2 =0,2086, ρ = 0,0016) (tableau 1.5 et figure 1.2) (corrélations annexe 4). Des corrélations simples ont également été effectuées mettant en relation les autres variables caractérisant le sol et la quantité de peupliers, mais elles se sont avérées non significatives (annexe 4).

Tableau 1.5. Régression linéaire simple de la capacité d'échange cationique (CEC (cmol(+)/kg)) en fonction de la surface terrière de peupliers (m^2/ha).

Variable	Coefficient	ρ
Ordonnée	7,1261	< 0,0001
Surface terrière PET (m^2/ha)	4,4611	0,0016
R^2 ajusté	0,2086	0,0016

Figure 1.2. Capacité d'échange cationique (CEC (cmol(+)/kg)) en fonction de la surface terrière de peupliers (m^2/ha) avant traitement (année 2003). Y = 0,0008x – 0,0026 (R^2 =0,2086, ρ = 0,0016) (Résultats présentés dans le tableau 1.5).



1.3.2 Croissance de l'épinette noire selon un gradient de rétention de peupliers

L'ANOVA de l'indice performance en fonction du traitement ne permet pas de distinguer de différence en termes de réaction de croissance des épinettes noires entre les parcelles ayant subi un traitement et les parcelles témoin (tableau 1.6). Étant donné qu'un test de t de Bonferroni avait différencié les données du bloc 3 de celles des deux autres blocs d'échantillonnage, le test statistique n'a été effectué que sur les données des blocs 1 et 2 (29 parcelles expérimentales).

Tableau 1.6. ANOVA de l'indice de performance de croissance en fonction du traitement ou non des parcelles expérimentales.

Variable	DL	Type 1 SS	Carré moyen	Valeur F	P
Indice de performance	1	0,9984	0,9984	36,78	< 0,0001
Traitement	1	0,0067	0,0067	0,25	0,6230
R^2				0,5874	< 0,0001

1.4 DISCUSSION

1.4.1 Croissance de l'épinette selon un gradient naturel de présence de peupliers

Les travaux de Légaré *et al.* (2004) ont démontré un effet positif de la présence de peupliers sur la croissance de l'épinette noire dans des peuplements matures (environ 80 ans). Il semblerait que, selon les résultats de la présente étude, le peuplier pourrait déjà, dans un peuplement âgé d'environ 20 ans, exercer une influence positive sur la croissance de l'épinette noire. La CEC, le pourcentage d'azote dans la couche organique du sol et les pH à l'eau et au $CaCl_2$ sont d'ailleurs positivement corrélés avec la surface terrière de peupliers (m^2/ha) dans les placettes expérimentales (annexe 4). Ceci suggère donc que l'influence positive du feuillu pourrait être exprimée par son effet avantageux sur les propriétés du sol en raison de l'existence potentielle de mécanismes de facilitation entre les deux espèces.

1.4.2 Croissance de l'épinette noire selon un gradient de rétention de peupliers

Selon le Manuel d'Aménagement Forestier (Gouvernement du Québec, 2004), l'éclaircie précommerciale se pratique lorsque la hauteur des arbres atteint 2 à 3 mètres. Lors de l'exécution du traitement, la taille moyenne des arbres dans les blocs expérimentaux était inférieure à 2 mètres pour les blocs 1 et 3 et y était tout juste égale dans le bloc 2 (tableau 1.2). Ceci pourrait expliquer l'impossibilité de distinguer la réaction de l'épinette aux divers traitements dans un premier temps et sa croissance similaire tant dans les parcelles témoin que dans celles traitées. L'éclaircie précommerciale aurait été appliquée de façon préventive, c'est-à-dire effectuée à un moment où la compétition inter et intra spécifique n'était probablement pas présente dans le peuplement et les arbres ne dénotaient aucun problème de croissance. Bien que la présence de peupliers aurait pu malgré tout engendrer des différences en termes de qualité de litière dans les placettes

expérimentales, la croissance de l'épinette noire n'y a démontré aucune réaction. Parallèlement, il semble qu'après 2 ans, le délai d'application du traitement ait été quant à lui trop court pour démontrer un effet du gradient de rétention de peupliers sur la croissance de l'épinette noire.

1.5 CONCLUSION

Le but du présent projet était d'évaluer l'effet de la quantité variable de peupliers faux-tremble sur la croissance de l'épinette noire dans un peuplement âgé d'environ 20 ans. La première hypothèse proposant qu'il y aurait variation de la croissance du conifère selon un gradient naturel de présence du feuillu dans le milieu a été rencontrée en raison de l'effet facilitant du peuplier sur la litière. Selon la seconde hypothèse, la croissance de l'épinette serait meilleure suivant le gradient de rétention du peuplier. Cette dernière n'a pas été rencontrée en raison de l'application préventive du traitement d'éclaircie et de l'absence de compétition apparente entre les arbres dans les peuplements avant traitement. À long terme, l'épinette ayant été en contact avec plus de peupliers devrait avoir le temps de réagir positivement à sa présence et un effet du gradient de rétention du feuillu pourrait être noté sur la croissance du conifère.

CHAPITRE 2

EFFET DE LA VARIATION DE L'ABONDANCE DU PEUPLIERS FAUX-TREMBLE SUR LA COMPOSITION, LE RECOUVREMENT ET LA DIVERSITÉ DES ESPÈCES DE LA STRATE DE SOUS-BOIS

2.1 INTRODUCTION

Plusieurs études portent sur l'influence de la composition de la canopée sur les espèces de sous-bois, mais leurs conclusions sont contradictoires. Lorsque la composition floristique de la strate herbacée n'est pas affectée par la couverture d'arbres, (Rogers, 1980; McCune et Antos, 1981; Carleton et Maycock, 1981; Crozier et Boerner, 1984; Joyce et Baker, 1987; Whitney et Foster, 1988; Sagers et Lyon, 1997), Mc Cune et Antos (1981) expliquent ce phénomène par une réponse différente des strates de la forêt aux gradients environnementaux et un taux de récupération suite à une perturbation dissemblable entre les deux. Ils ajoutent également que des facteurs historiques inexplicables sont responsables des patrons de distribution des plantes et que les variations génotypiques intraspécifiques atténuent les associations entre les espèces. Par contre, lorsqu'un lien entre la végétation des strates supérieure et inférieure de la forêt est conclu, il est attribué à des similarités en termes de réponse aux mêmes facteurs environnementaux (Gagnon et Bradfield, 1986; Host et Pregitzer, 1992; Giliam et Roberts, 2003) ou à des influences directes de la canopée sur le sous-bois (Turner et Franz, 1986; Tyler, 1989; Roberts, 1992; Simon et Buckley, 1992; Nemati et Goetz, 1995; Berger et Puettmann, 2000; Légaré *et al.*, 2001; Quian *et al.*, 2003) selon des mécanismes variés incluant les changements en acidité du sol et la fertilité, la disponibilité de la lumière ou les effets physiques de la litière.

L'aménagement forestier dans un écosystème peut par contre altérer la qualité du sol en y diminuant la quantité de matière organique et la macroporosité. (Powers *et al.*,

forestière réduit la capacité de régénération végétative par les plantes en place et favorise l'implantation de lits de germination pour des espèces rudérales en raison de la suppression des tiges, des rhizomes et des jeunes racines que cette activité implique (Haeussler et Kabzems, 2005). Selon Purdon *et al.* (2004), la récolte forestière tend à homogénéiser la composition du sous-bois jusqu'à la rendre semblable à ce qui est retrouvé dans des peuplements ayant subi des feux extrêmes. Une diminution significative dans l'abondance, la richesse et la diversité du sous-bois y est donc rencontrée alors que l'analyse des espèces indicatrices suggère que les plantes méso-xérophytes et xériques y sont favorisées. La plus grande perturbation de la matière organique et l'accélération de l'assèchement du sol, en raison de l'enlèvement des débris ligneux qu'entraîne la récolte, expliqueraient ces impacts de l'activité forestière. Compte tenu de ces derniers faits, un lien direct entre les strates supérieure et inférieure de végétation pourrait être masqué lors d'une étude où le dispositif expérimental a été établi sur des sites ayant connu des coupes à blanc dans le passé.

Néanmoins, les résultats d'études suggèrent que les peuplements dominés par des espèces intolérantes (caduques ou conifères) transmettent plus de lumière que ceux dominés par des espèces conifères tolérantes (Messier *et al.*, 1998) et que le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx) accélère le cycle des éléments nutritifs en raison de son caractère exigeant en termes de nutrition et de la qualité de sa litière (Van Cleve et Noonan, 1975; Bockheim *et al.,* 1991; Alban et Pastor, 1993; Paré et Bergeron, 1996; Légaré *et al,.* 2005). Ces effets des feuillus sont d'ailleurs les mêmes qui expliquent les résultats obtenus par Simmons et Buckley (1992) et Saetre *et al.* (1997) lors d'expérimentations du même type dans des peuplements mixtes d'épinettes accompagnées de chênes dans le premier cas et de bouleaux dans le deuxième. Ils estiment que la diminution de l'abondance des bryophytes et l'augmentation de l'occurrence des plantes vasculaires dans les peuplements mixtes en comparaison avec les peuplements purs d'épinettes résultent directement de la

plus grande quantité de lumière transmise par la canopée et de l'effet direct de la différence en structure physique et en composition chimique entre les aiguilles d'épinette et les feuilles de feuillus sur la qualité et la quantité de litière au sol. Tout porte à croire que cette situation pourrait être applicable au peuplier.

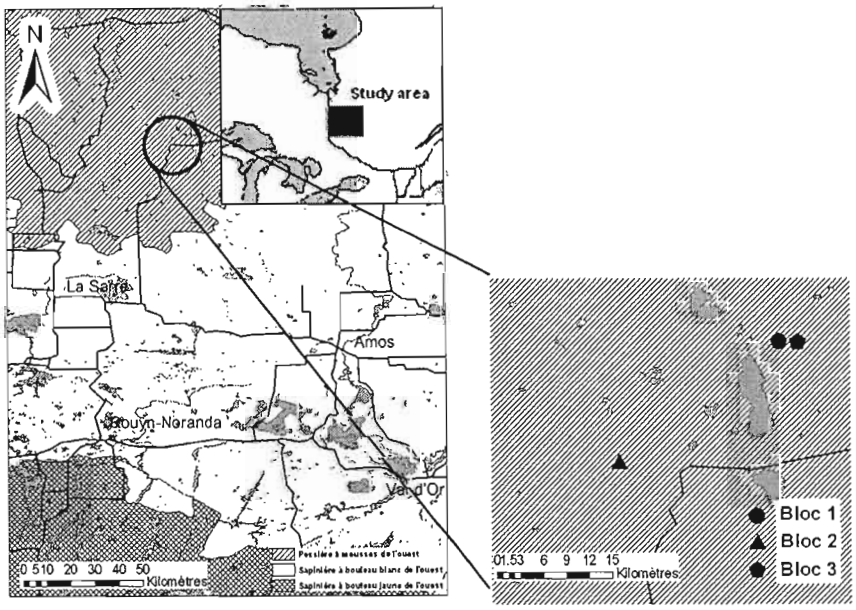
L'effet de la quantité variable de peupliers faux-tremble sur la composition, le recouvrement et la diversité des espèces de la strate de sous-bois a donc été évalué dans ce projet grâce à un dispositif expérimental où le feuillu est tout d'abord présent selon un gradient naturel (la proportion naturelle présente dans le peuplement avant l'expérimentation) et ensuite selon un gradient imposé (obtenu suite à une éclaircie précommerciale) dans les parcelles expérimentales. Tel que mentionné plus haut, il est connu que la présence de peupliers dans un peuplement améliore la transmission de la lumière et enrichit la litière. Ce dernier énoncé est à la base des hypothèses émises dans ce projet proposant qu'il y aura variation de la composition, du recouvrement et de la diversité des espèces de la strate de sous-bois en fonction de la quantité de peupliers dans le milieu.

2.2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.2.1 Aire d'étude

L'étude se déroule dans le domaine de la pessière à mousse en Abitibi-Témiscamingue (Grondin 1996) (latitude : de 49°21'32.8''N à 49°29'54.4''N; longitude : de 78°39'07.3''W à 78°51'13.6''W) (figure 2.1) et couvre une partie de la Ceinture d'argile (Clay Belt) du Québec et de l'Ontario, une grande région physiographique créée par les dépôts lacustres de l'expansion maximale du lac proglaciaire Ojibway-Barlow au post-Wisconsin (Vincent et Hardy, 1977). La station météorologique à proximité est située à Joutel et une température annuelle moyenne de 0,1 °C et une moyenne de précipitations annuelles totales de 892,2 mm y sont enregistrées (Environnement Canada, 1993).

Figure 2.1. Localisation de l'aire d'étude en Abitibi-Témiscamingue, au nord-ouest du Québec.



2.2.2 Plan d'échantillonnage

Trois blocs expérimentaux ont été localisés, à l'été 2003, dans ans l'unité d'aménagement 85-51 de la compagnie Tembec sur des superficies dominées par l'épinette noire, mais incluant une présence hétérogène de peupliers faux-tremble (PET), possédant un type de dépôt (argile), de drainage (mésique), (Brais et Camiré, 1992) une pente (faible) et un temps depuis la dernière perturbation comparables. Le premier et le troisième bloc, situés dans le canton Estrades, constituent des peuplements en régénération naturelle issus d'une coupe totale ayant eu lieue en 1986. Le dernier feu survenu dans le secteur date de 1916. De son côté, le peuplement du deuxième bloc se trouve dans le canton Bacon. La végétation d'origine y a subis une coupe totale en 1987 ainsi qu'une préparation de terrain par scarifiage et un reboisement à l'épinette noire en 1988.

Chaque bloc, d'une superficie d'environ trois hectares, contient 15 parcelles circulaires d'échantillonnage de 7m de rayon. Un traitement a été associé à chacune d'elles par un tirage aléatoire. Ainsi, trois parcelles par bloc se sont vues attribuer les traitements soit de témoin (aucun traitement), 0 tige de PET/ha, de 65 tiges de PET/ha, de 130 tiges de PET/ha ou de 195 tiges de PET/ha (annexe 1). Le nombre de peupliers résiduels dans la parcelle était obtenu par une éclaircie pré-commerciale effectuée en septembre 2003.

Avant l'exécution des travaux sylvicoles, chaque tige d'essence commerciale a été cartographiée dans chacune des 45 placettes circulaires à l'aide d'un ruban à mesurer et d'une boussole. Le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) et la hauteur de chaque tige ont été mesurés et notés. La hauteur était obtenue avec un ruban gradué ou un clinomètre selon la hauteur de l'arbre. Le gradient naturel de présence du peuplier faux-tremble avant le traitement dans chacune des parcelles était donc connu de cette façon. Ce même travail fût exécuté de nouveau l'été suivant pour visualiser la

disposition des arbres résiduels dans les parcelles suite à l'éclaircie pré-commerciale (annexe 2).

Tableau 2.1 Nombre total de tiges à l'hectare des essences commerciales des blocs d'échantillonnage avant (2003) et après (2004) l'éclaircie pré commerciale.

Bloc	Surface terrière m^2/ha	
	2003	2004
1	5211	2524
2	3208	2198
3	6734	3503

2.2.3 Échantillonnage du sous-bois

La méthode d'échantillonnage des espèces de sous-bois est la même qui a été appliquée tant avant qu'après l'exécution des travaux sylvicoles. Les recouvrements des espèces de bryophytes ainsi que de toutes les espèces herbacées et arbustives, incluant toutes celles mesurant moins de 1m de hauteur et/ou moins de 1cm de diamètre, ont été estimés dans 8 sous-placettes de $1m^2$ dans chacune des placettes circulaires. Les sous-placettes sont distribuées aléatoirement à chaque année selon des coordonnées correspondant à une grille superposée sur la placette d'échantillonnage. Le recouvrement total peut être supérieur à 100% en raison du chevauchement possible entre les espèces. Ces dernières sont identifiées selon la nomenclature utilisée dans la Flore Laurentienne (Marie-Victorin, Fr., 1995).

2.2.4 Caractérisation du sol

Avant l'exécution de l'éclaircie pré-commerciale, la capacité d'échange cationique (CEC) et la réserve en azote du sol de chacune des placettes expérimentales ont été analysées. Un pédon y a été creusé à des fins de classification des sols et quatre échantillons de l'horizon FH de même que des premiers 10 cm de l'horizon B ont été récoltés aléatoirement, groupés par horizon, tamisés et analysés en laboratoire.

Le pH de l'humus a été déterminé dans l'eau bidistillée (McKeague 1976). Le calcium, le magnésium et le potassium (Ca, Mg et K) échangeables dans l'humus et le sol minéral ont été obtenus par spectrophotométrie d'absorption atomique après avoir été extraits par une solution de $BaCl_2$ 0,1 M (Hendershot *et al.*, 1993). L'azote total a été mesuré par combustion à l'aide d'un appareil CNS-analyser (LECO Instruments Limited). Le pourcentage argile-limon dans le sol minéral a été déterminé par analyse granulométrique (McKeague, 1976).

Finalement, afin de réduire les doutes quant à la relation de la croissance des arbres avec le régime hydrique dans les parcelles, la profondeur de la zone oxydée du sol a été mesurée. Pour ce faire, trois tiges d'acier (120 cm) ont été disposées en triangle à environ un mètre du centre de la placette expérimentale et laissées dans le sol (profondeur de 90cm) pour une période de trois mois. À la fin de la période d'exposition, les tiges d'acier sont retirées avec des clés à mollette et les différentes zones de couleur correspondant à « orange-brun » ou « noire » sont aussitôt distinguées avec du ruban adhésif. La profondeur de la zone d'oxydation dans le sol est alors obtenue en mesurant la distance entre la surface du sol et les zones de rouille (Carnelle et Anderson, 1986).

2.2.5 Analyses statistiques

Effet du peuplier faux-tremble sur la composition en espèces du sous-bois

Afin de bien dresser un portrait des conditions initiales et de bien différencier les trois blocs expérimentaux, une Analyse Canonique des Correspondances (CCA) a été effectuée à partir des données récoltées avant l'exécution du traitement (été 2003) pour mettre en relation la position des placettes expérimentales et les espèces du sous-bois selon les données environnementales. Par la suite, une analyse des vecteurs de changement de composition des parcelles d'échantillonnage au cours des trois années de récolte de données a été réalisée en utilisant les coordonnées des

deux premiers axes situant la position des placettes par rapport à la composition en espèces du sous-bois obtenues suite à une autre CCA.

Effet du peuplier faux-tremble sur le recouvrement des espèces de sous-bois

Une analyse de redondance (RDA) avec sélection pas à pas des variables a été effectuée pour mettre en relation le recouvrement des espèces de sous-bois (moyenne des 8 sous-placettes de $1m^2$ par parcelle) avec les données environnementales et la surface terrière de peuplier faux-tremble avant traitement. Suite à l'exécution du même type de RDA, une RDA partielle, utilisant les variables environnementales comme indice de qualité de site en tant que covariable, a ensuite été utilisée pour déterminer un effet potentiel du traitement sur le recouvrement des espèces de la strate inférieure tout en contrôlant pour l'effet site. Afin de réduire les problèmes de double zéros, les données de recouvrement ont été transformées en utilisant les distances de chord (Haeussler et Kabzems, 2005).

Effet du peuplier faux-tremble sur la diversité de la strate de sous-bois

Une régression linéaire simple a été utilisée pour évaluer l'effet du gradient naturel de présence du peuplier faux-tremble sur l'indice de diversité de Shannon « H »,

$$H' = -\sum^{Rich} p_k \log p_k$$

où Rich représente le nombre total d'espèces représentées par au moins un individu, K est l'indice caractérisant les espèces (varie de 1 à Rich) et P_k proportion de la k^e espèce, et l'indice d'équitabilité « R », (Scherrer 1984).

$$R = \frac{\sum p_k \log p_k}{\text{Log Rich}}$$

Les analyses statistiques ont été exécutées avec les logiciels SAS (SAS Institute Inc., Cary, N.C.) et Canoco 4.5 (ter Braak et Smilauer, 2002), le seuil de signification a été fixé à 0,05.

2.3 RÉSULTATS

2.3.1 Effet du peuplier faux-tremble sur la composition en espèces du sous-bois

Les figures 2.2 et 2.3 démontrent bien que les conditions initiales rencontrées dans les blocs 1 et 3 étaient différentes de celles du bloc 2. Dans le premier cas, le sol était plus acide et la quantité de matière organique au sol plus importante. Des espèces de sous-bois plus caractéristiques de conditions hydriques, telles que *Vaccinium oxycoccos* L., *Ledum groenlandicum* Retz., *Vaccinium angustifolium* Ait., *Vaccinium myrtilloides* Michx, *Pleurozium schreberi* (BSG.) Mitt, *Chamaedaphne calyculata* (L.) D. Don.et *Kalmia sp.*, y sont présentes (Bergeron et Bouchard, 1983). Des conditions inverses de pH et d'épaisseur de matière organique au sol dans le bloc 2 résulte un milieu mésique où *Solidago sp., Epilobium angustifolium* L., *Aster spp.*, *Aster macrophyllus* L., *Mertensia paniculata* (Ait) G. Don., *Rubus idaeus* L., *Ribes glandulosum* Grauer, et *Rubus pubescens* Raf. étaient plutôt rencontrées.

L'analyse des vecteurs des changements de composition du sous-bois des parcelles d'échantillonnage au cours des trois années de récolte de données propose que ce dernier a été important entre les années 2003 et 2004 suite au traitement que par rapport à 2004 et 2005 (figure 2.4). Les blocs 1 et 2 ont présenté un plus grand déplacement entre les deux premières années par rapport au bloc 3 pour qui la longueur des vecteurs est moins prononcée. Malgré le déplacement de position des placettes expérimentales, la composition en espèces reste semblable à la composition initiale : des espèces de milieu hydrique pour les blocs 1 et 3 et des espèces de conditions mésiques pour le bloc 2.

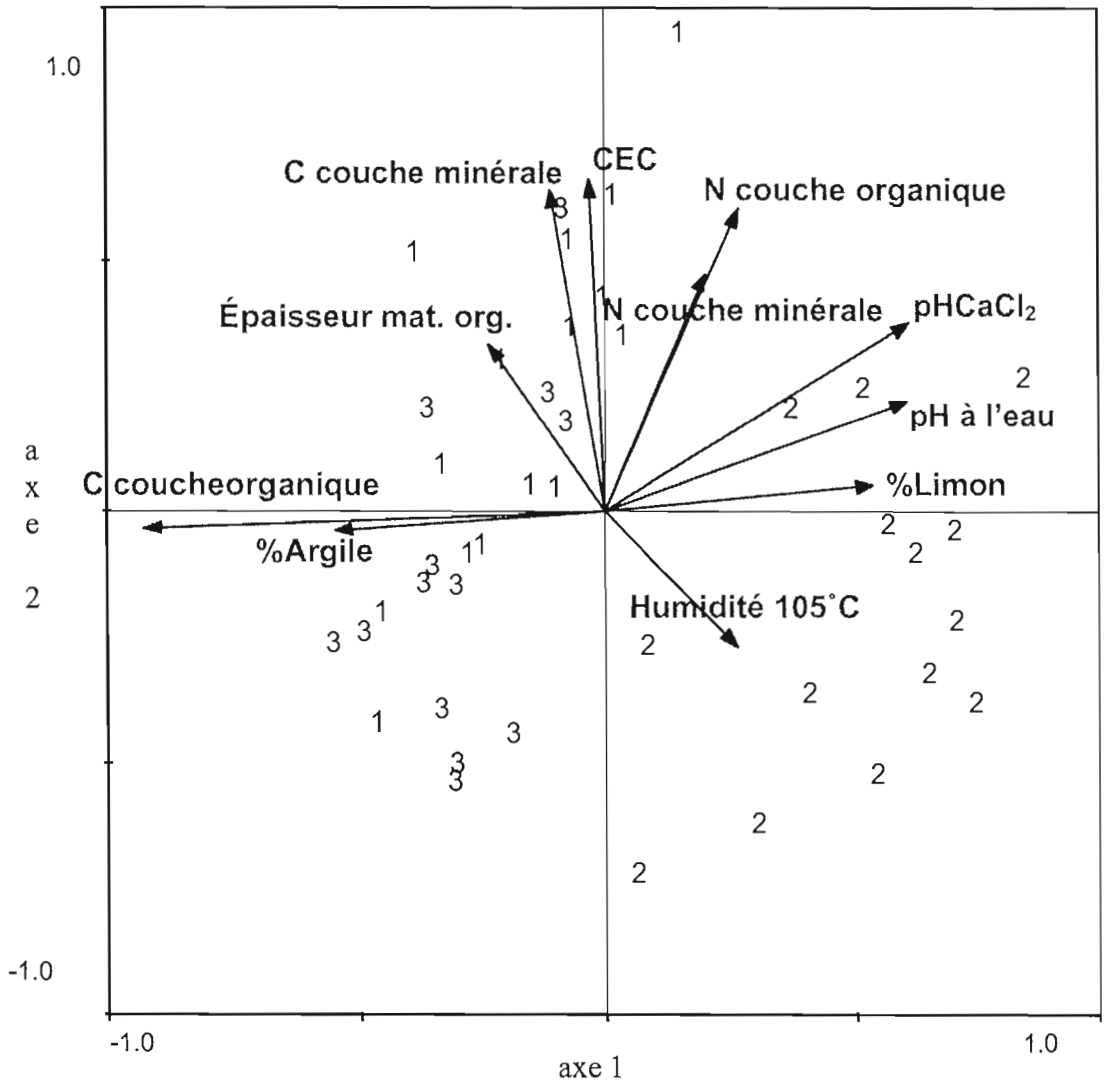


Figure 2.2. CCA effectuée à partir des données récoltées avant traitement (été 2003) mettant en relation la position des placettes expérimentales selon les données environnementales. Les numéros 1, 2 et 3 correspondent au bloc de provenance de la placette expérimentale.

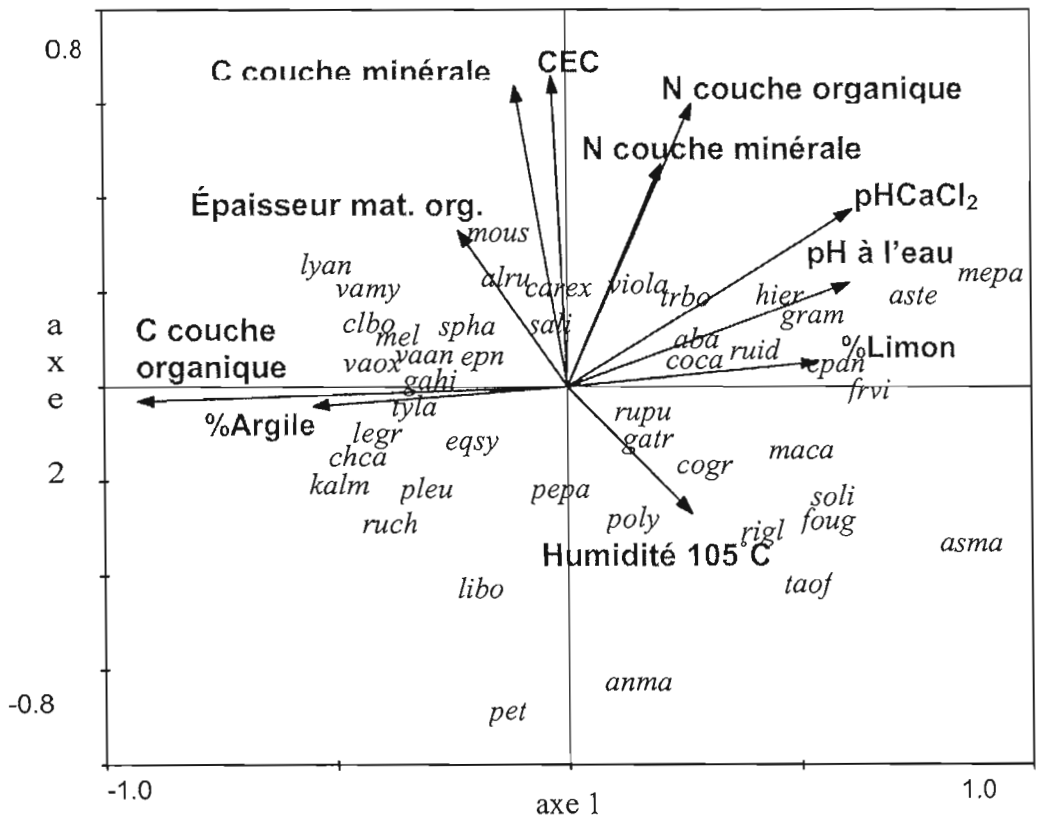


Figure 2.3. CCA effectuée à partir des données récoltées avant traitement (été 2003) mettant en relation les espèces de sous-bois selon les données environnementales (code des espèces annexe 5).

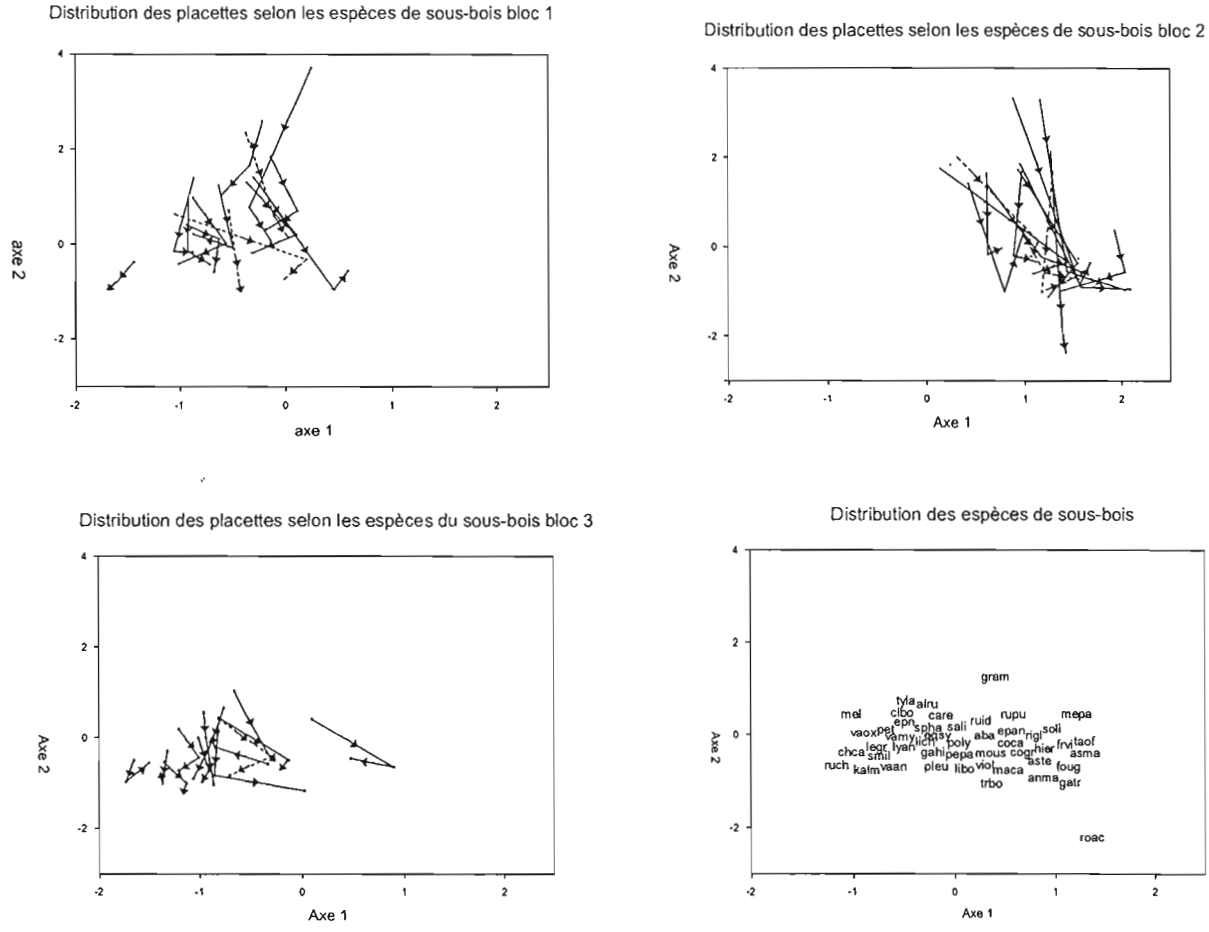


Figure 2.4 Déplacement des placettes expérimentales selon la composition du sous-bois lors des trois années d'échantillonnage utilisant les coordonnées des deux premiers axes obtenus suite à une CCA. Le premier segment de flèche correspond au déplacement 2003-2004, l'année du traitement et le deuxième au déplacement 2004-2005, les deux années soumises au traitement. Les flèches en ligne non continue représentent les parcelles témoin. (code des espèces annexe 2)

2.3.2 Effet du peuplier faux-tremble sur le recouvrement des espèces de sous-bois

La RDA avec sélection pas à pas des variables mettant en relation le recouvrement des espèces de sous-bois avec les données environnementales et la surface terrière de peuplier avant traitement propose que le gradient naturel de feuillus n'influence pas de façon significative le recouvrement des espèces de la strate inférieure ($\rho = 0,286$), (tableau 2.2) et ce même lorsqu'on exclue les données du bloc 2 qui expliquent une grande partie de la variabilité (Lambda A= 0,20) (tableau 2.3).

Tableau 2.2 RDA, par sélection pas à pas des variables, du recouvrement en espèces du sous-bois en relation avec la surface terrière de peupliers faux-tremble (m^2/ha) avant traitement et les données environnementales.

Variable	Lambda A	P
Bloc 2	0,20	0,002
Bloc 1	0,05	0,002
Surface terrière de PET m2/ha	0,02	0,286
% C couche minérale	0,02	0,420
% Argile	0,02	0,440
% Limon	0,02	0,318
% N couche minérale	0,01	0,664

Tableau 2.3 RDA, par sélection pas à pas des variables, du recouvrement en espèces du sous-bois des blocs 1 et 3 en relation avec la surface terrière de peupliers faux-tremble (m^2/ha) avant traitement et les données environnementales.

Variable	Lambda A	P
% C couche minérale	0,08	0,022
Surface terrière de PET m2/ha	0,05	0,194
%N couche minérale	0,04	0,116
% Argile	0,03	0,812
% Limon	0,02	0,882

Le recouvrement des espèces de sous-bois n'a pas réagit à l'application ou non d'un traitement ($\rho=0,405$) puisque le facteur « année d'échantillonnage » semble expliquer beaucoup trop de variabilité (Lambda A=0,07) (tableaux 2.4 et 2.5) et ce même lorsque les données provenant du bloc 2 ($\rho=0,550$) sont exclues (tableau 2.6).

Tableau 2.4 RDA du recouvrement des espèces de sous-bois après traitement en fonction des variables environnementales.

Variable	Lambda A	P
Bloc 2	0,16	0,005
Bloc 1	0,03	0,005
% Argile	0,01	0,095
% Limon	0,01	0,015
% C couche minérale	0,01	0,080
% N couche minérale	0,02	0,025

Tableau 2.5 RDA partielle du recouvrement des espèces de sous-bois après traitement en fonction de l'année de traitement et du traitement, les données environnementales sont utilisées comme covariable.

Variable	Lambda A	Lambda 2	P
Année	0,07	0,07	0,005
traitement	0,05	0,00	0,405

Tableau 2.6 RDA partielle du recouvrement des espèces de sous-bois des blocs 1 et 3 après traitement en fonction de l'année de traitement et du traitement, les données environnementales sont utilisées comme covariable.

Variable	Lambda A	Lambda 2	P
Année	0,05	0,05	0,005
traitement	0,03	0,01	0,550

2.3.3 Effet du peuplier faux-tremble sur la diversité de la strate de sous-bois

Selon les résultats des régressions linéaires simples de l'indice de diversité de Shannon et de l'équitabilité en fonction de la surface terrière de peuplier faux-tremble (m^2/ha), la variation de la présence du feuillu dans le milieu n'engendre pas de changement en termes de diversité (R^2 = 0,0809, ρ = 0,06) et d'équitabilité (R^2 = 0,0137, ρ = 0,4611) dans les parcelles expérimentales (tableaux 2.7 et 2.8).

Tableau 2.7. Régression linéaire simple de l'indice de diversité de Shannon en fonction de la surface terrière de peupliers (m^2/ha) avant traitement.

Variable	Coefficient	P
Ordonnée	2,6240	< 0,0001
Surface terrière PET (m^2/ha)	10,7686	0,0679
R^2 ajusté	0,0809	

Tableau 2.8. Régression linéaire simple de l'équitabilité en fonction de la surface terrière de peupliers (m^2/ha) avant traitement.

Variable	Coefficient	P
Ordonnée	0,8266	< 0.0001
Surface terrière PET (m^2/ha)	0,8563	0,4611
R^2 ajusté	0,0137	

2.4 DISCUSSION

2.4.1 Effet du peuplier faux-tremble sur la composition en espèces du sous-bois

À première vue, l'observation des résultats de l'effet du peuplier faux-tremble sur la composition de la strate de sous-bois suggère que l'application du traitement y ait entraîné un changement. Par contre, les changements observés au sein des placettes témoin sont d'égales amplitudes. Le déplacement important des placettes entre 2003 et 2004 apparaît donc plutôt témoigner d'une réactivité toujours présente des milieux d'échantillonnage face à la coupe forestière subie antérieurement. Les espèces présentes dans ces peuplements ainsi que les caractéristiques du sol sont en mode « récupération ». Imposer une perturbation supplémentaire dans une telle situation, comme une éclaircie précommerciale en ce qui concerne cette étude, introduit davantage de bruit dans l'analyse tentant de détecter un lien entre les strates supérieure et inférieure. Ceci explique peut-être qu'aucun patron de changement de composition particulier n'a été noté à la figure 2.4 et qu'un effet du peuplier faux-tremble ne peut être conclu.

2.4.2 Effet du peuplier faux-tremble sur le recouvrement et la diversité des espèces de sous-bois

L'augmentation de peupliers dans les placettes expérimentales, selon le gradient naturel de présence du feuillu, n'a pas engendré de changements en termes de recouvrement et de diversité des espèces de sous-bois. Il en fut de même lorsque la strate inférieure était soumise à un gradient imposé suite au traitement. L'importance de l'apport de l'année d'échantillonnage au tableaux 2.5 et 2.6, qui dissimule des résultats positifs de l'action du traitement, peut être expliquée par une grande différence de conditions météorologiques entre l'été 2004, très humide, et l'été 2005, très sec. De plus, les effets potentiels du peuplier sur la qualité de la litière ont pu

être masqués par le peu de temps écoulé depuis la dernière altération du site causée par les activités de récolte (Purdon *et al.*, 2004). Le lien potentiel direct entre les deux strates est donc difficile à détecter. Comme le proposaient Mc Cune et Antos (1981), un taux de récupération suite à des perturbations dissemblables entre les deux strates de la forêt pourrait expliquer l'absence d'effet du peuplier sur le recouvrement et la diversité des espèces de sous-bois (Mc Cune et Antos, 1981)

2.5 CONCLUSION

Le but du présent projet était d'évaluer l'effet de la quantité variable de peupliers faux-tremble sur la composition, le recouvrement et la diversité des espèces de la strate de sous-bois grâce à un dispositif expérimental où le feuillu est tout d'abord présent selon un gradient naturel et ensuite selon un gradient imposé dans les parcelles expérimentales. L'hypothèse proposait qu'il y aurait variation de la composition, du recouvrement et de la diversité des espèces de la strate de sous-bois en fonction de la présence de peupliers dans le milieu. Étant donné le peu de temps écoulé depuis la coupe en considération au temps nécessaire à la récupération de la strate de sous-bois face à une perturbation majeure telle que la coupe, la strate inférieure n'a démontré aucune réaction en termes de composition, de recouvrement ou de diversité face au changement de présence de peuplier faux-tremble dans le milieu. L'éclaircie précommerciale permettant de mettre en place le gradient imposé avait d'autant plus été appliquée en mode préventif, avant même que le couvert forestier ait commencé à se refermer ce qui a rendu le traitement peu efficace. L'hypothèse de travail n'a donc pas été rencontrée.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Des études antérieures ont déjà été consacrées à la relation qu'il pouvait exister entre la composition de la canopée et la croissance des espèces arborescentes de deuxième succession. L'originalité de celle-ci résulte dans l'observation de cette relation dans de jeunes peuplements. Lorsque ce dernier est à maturité, les arbres sont en contact depuis longtemps et des effets positifs ou négatifs de leur coexistence peuvent s'observer. D'après les résultats obtenus, le peuplier aurait déjà modifié les conditions du sol positivement après seulement 20 ans d'occupation. Son effet facilitant sur la litière apparaît favoriser la croissance de l'épinette noire dans les placettes expérimentales où sa présence était plus importante. La mixité des peuplements serait donc à considérer lorsqu'on tente d'en augmenter la productivité.

L'élaboration d'un dispositif expérimental où la quantité de peupliers a été manipulée selon un traitement imposant un nombre de tiges de peupliers à l'hectare permettra d'effectuer un suivi à long terme des placettes expérimentales. Ainsi, tel que le souhaitent les compagnies forestières, la quantité de peupliers à laisser sur pied lors des éclaircies précommerciales, afin de rendre le peuplement d'épinettes noires plus productif, pourra être déterminée. En raison de l'absence de compétition entre les arbres lors de l'exécution du traitement et le délai trop court depuis l'application de ce dernier, cette étude n'a pas pu fournir une telle information.

La composition de la canopée influence également le taux de recyclage de la litière et diverses composantes du sol. Par conséquent, les plantes de sous-bois présentes dans la strate inférieure peuvent réagir en termes de composition, de recouvrement et de diversité. Comprendre les effets de la manipulation de la quantité de peupliers dans le peuplement sur les paramètres tout juste cités permet d'inclure une partie importante de biodiversité dans la prise de décision en matière d'activités d'aménagement de la forêt. À la lumière des résultats obtenus, la strate inférieure n'a démontré aucune

démontré aucune réaction à la manipulation de composition de la canopée. La phase de récupération encore trop jeune du milieu face à des activités forestières antérieures apparaît masquer la réaction potentielle du sous-bois.

BIBLIOGRAPHIE

Alban, D.H. et Pastor, J. 1993. Decomposition in aspen, spruce and pine boles on two sites in Minnesota. *Can. J. For. Res.* 23 :1744-1749

Alban D.H. 1982. Effects of nutrient accumulation by aspen, spruce, and pine on soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46 :853-861.

Berger, A.L. et Puettmann, K.J. 2000. Overstory composition and Stand Structure Influence Herbaceous Plant Diversity in the Mixed Aspen Forest of Northern Minnesota. *Am. Midl. Nat.* 143 : 111-125.

Bergeron, Y. et Bouchard, A. 1983. Use of ecological groups and classification of plant communities in a section of western Quebec. *Vegetatio* 56: 45-63.

Brais S. et Camiré C. 1992. Keys for soil moisture regime evaluation for northwestern Quebec. *Can. J. For. Res.* 22 : 718-724.

Bockeim, J.G., Jepsen, E.A. et Heisey, D.M. 1991. Nutrient dynamics in decomposing leaf litter of four tree species on a sandy soil in northwestern Wisconsin. *Can. J. For. Res.* 21 : 803-812.

Cappuccino, N., Lavertu D., Bergeron, Y. et Régnière, J. 1998. Spruce Budworm impact, abundance and parasitism rate in a patchy landscape. *Oecologia* 114:236-242.

Carleton, T.J. et Maycock, P.F. 1981. Understorey-canopy affinities in boreal forest vegetation. *Can. J. Bot.* 59 : 1709-1716.

Carnell, R. et M. A. Anderson. 1986. A technique for extensive field measurement of soil anaerobism by rusting of stell rods. *Forestry* 59: 129-140.

Constabel, A. J. et Lieffers, V.J. 1996. Seasonal patterns of light transmissions through boreal mixedwood canopies. *Can J. For. Res.* 26 : 1008-1014.

Crozier, C.R., et Boerner, R.E.J. 1984. Correlations of under-story herb distribution patterns with michohabitats under different tree species in a mixed mesophyte forest. *Oecologia* (Heidelb.) 62 : 337-343.

Ellern, S.J., Harper, J. L. et Sagar, G. R. 1970. Acomparative study of the distribution of roots of *Avena fatua* and *A. strigosa* in mixed stands uging a 14C labelling technique. *J. Ecol.* 58: 865-868.

Environnement Canada. 1993. *Normales climatiques au Canada (1961-1990) - Québec*. Ministère des approvisionnements et services, Ottawa, 157 pages.

Flanagan, P.W. et Van Cleve, K. 1983. Nutrient cycling in relation to decomposition and organic-matter quality in taiga ecosystems. *Can. J. For. Res.* 13 : 795-817.

Gagnon, D. et Bradfield, G.E. 1986. Relationships among forest strata and environment in southern coastal British Columbia. *Can. J. For. Res.* 16 : 1624-1271.

Grondin, P. 1996. Écologie forestière dans le Manuel de foresterie. Presses de l'Université Laval, Québec, p.135-279.

Gouvernement du Québec, Ministère des Ressources Naturelles, de la Faune et des Parcs. 2004. Manuel d'Aménagement Forestier, 4^{e} édition, 122 pages.

Haeussler, S. et Kabzems R. 2005. Aspen plant communitu response to organic matter removal and soil compaction.

Hendershot, W.H., Lalande, H. et Duquette, M. 1993. Ion Exchange and Exchangeable Cations. *Dans* : M.R. Carter (éd.) Soil Sampling and Methods of Analysis. Canadian Society of Soil Science. pp. 167-176.

Hill, J. et Shimamato, Y. 1973. Methods of analysing competition with special reference to herbage plants. I. Establishment. *J. Agric. Sci.* 81: 77-88.

Host, G.E. et Pregitzer, K. S. 1992. Geomorphic influences on ground-flora and overstory composition in upland forests of northwestern lower Michigan. *Can. J. For. Res.* 22 :1547-1555.

Joyce, L.A. et Baker, R.L. 1987. Forest overstory-understory relationships in Alabama forests. *For. Ecol. Manage.*, 18 : 49-59.

Kelty, M.J. 1992. Comparative productivity of monocultures and mixed-species stands. *Dans* : The ecology and silviculture of mixed-species stands. *Édité par* M.J. Kelty, B.C. Larson et C. D. Oliver. Kluwer Academic Plublishers, Dordrecht, The Netherlands. pp. 125-141.

Légaré, S., Bergeron, Y., Leduc, A., et Paré, D. 2001. Comparison of the understory vegetation in boreal forest types of southwest Quebec. *Can. J. Bot.* 79 : 1019-1027.

Légaré, S., Paré, D. et Bergeron, Y. 2004. The response of black spruce growth along an aspen gradient in mixed stands. *Can. J. For. Res.* 34 : 405-416.

Légaré, S., Paré, D. et Bergeron, Y. 2005. Influence of aspen on forest floor properties in black spruce-dominated stans. *Plant and soil.* 275: 207-220.

Man, R. et Lieffers, V.J. 1999. Are mixtures of aspen and white spruce more productive than single species stands? *For. Chron.* 75(3) : 505-513.

Marie-Victorin, Fr., 1995. *Flore Laurentienne.* 3e ed. (rev. par L. Brouillet et I. Goulet). Les Presses de l'Université de Montréal, Montréal, 1093 pages.

Mc Cune, B., Antos, J. A. 1981. correlations between forests layers in the Swan Valley, Montana. *Ecology* 62: 1196-1204.

McKeague, J.A. (ed.), 1976. *Manual on Soil Sampling and Methods of Analysis.* Res. Inst., Can. Dep. Agric., Ottawa, Ontario. 212 pages.

Messier, C., Parent, S., et Bergeron, Y. 1998. Effects of overstory vegetation on the understory light environment in mixed boreal forests. *J. Veg. Sci.* 9 : 511-520.

Nemati, N. et Goetz, H. 1995. Relationships of overstory to understory cover variables in a Ponderosa pine/ Gamble oak ecosystem. *Vegetatio* 119: 15-21.

Paré, D. et Bergeron, Y. Effect of colonizing tree species on soil nutrient availability in a clay soil of the boreal mixedwood. *Can. J. For. Res.* 26: 1022-1031.

Peterson, E.B. et Peterson, N.M. 1992. *Ecology, management and use of aspen and balsam poplar in the prairie provinces.* Forestry Canada, Northern Forestry Centre, Edmonton, Alberta. Special Report 1, 252 pages.

Perry, D.A., Choquette, C. et Shroeder, P. 1987. Nitrogen dynamics in conifer-dominated forests with and without hardwoods. *Can. J. For. Res.* 17: 1434-1441.

Powers, R.F., Alban, D.H., Miller, R.E., Tiarks, A. E., Wells, C.G., Avers, P.E., Cline, R.G. Fitzgerald, R.O. et Loftus, N.S. Jr. 1990. Sustaining site productivity in North American forests: problems and prospects. *Dans* Proceedings of the 7th North American Forest Soils Conferenc: Sustained Productivity of Forest Soils, 24-28 July 1988, Vancouver, B.C. *Édité par*

S.P. Gessel, D.S. Lacate, G.F Weetman et R.F. Powers. The University of British Columbia, Vancouver, B. C. pp.49-79.

Purdon, M., Brais, S., et Bergeron, Y. 2004. Initial response of understorey vegetation to fire severity and salvage-logging in the southern boreal forest of Québec. *Applied Vegetation Science* 7: 49-60.

Quian, H., Klinka, K., Okland, R.H., Krestov, P. et Kayahara, G.J. 2003. Understorey vegetation in voreal *Picea mariana* and *Populus tremuloides* stands in British Columbia. *J. Veg. Sci.* 14: 173-184.

Roberts, M. R. 1992. Stand development and overstory-understory interactions in an aspen-northern hardwoods stand. *For. Ecol. Manage.* 54 : 157-174.

Rogers, R.S., 1980. Hemlock stands from Wisconsin to Noca Scotia : transitions in understory composition along a floristic gradient. *Ecology* 61: 178-193.

Saetre, P., Sturesson, P., Brandtberg, P.-O., Lundkvist, H., et Bengtsson, J. 1997. Ground vegetation composition and heterogeneity in pure Norway spruce and mixed Norway spruce – birch stands. *Can. J. For. Res.* 27 : 2034-2042.

Sagers, C.L. et Lyon, J. 1997. Gradient analysis in a riparian landscape : contrasts among forest layers. *Forest Ecol. Manag.* 96 :13-26.

Scherrer, B. 1984. *Biostatistique.* Gaëtan Morin éditeur, Québec, Canada, 850pages.

Simmons, E.A. et Buckley, G.P. 1992. Ground vegetation under planted mixtures of trees. *Dans* The ecology of mixed-species stands of trees. *Édité par* M.G.R. Cannell, D.C. Malcolm, et P.A. Robertson. British Ecological Society, Blackwell, U.K. pp. 211-231.

Strong, W.L. et La Roi, G.H. Root-system morphology of common boreal forest trees in Alberta, Canada. *Can. J. For. Res.* 13 :1164-1173

Su, Q. MacLean, D.A. et Needham, T.D. 1996. The influence of hardwood content on balsam fir defoliation by spruce budworm. *Can. J. For. Res.* 26: 1620-1628.

ter Braak, C.J.F. et Smilauer, P. 2002. CANOCO 4.5, software for canonical community ordination (version 4.5). Centre for biometry Wageningen, the Netherlands.

Trenbath, B.R. et Harper, J.L. 1973. Neighbour effects in the genus *Avena*. I. Coparison of crop species. *J. Appl. Ecol.* 10: 379-400.

Turner, D.P. et Franz, E.H. 1986. The influence of canopy dominants on understory vegetation patterns in an oldgrowth cedar-hemlock forest. *American Midland Naturalist* 116 :387-393.

Tyler, G. 1989. Interacting effects of soil acidity and canopy cover on the species composition of field-layer vegetation in oak/hornbeam forests. *Forest Ecology and Management* 28 : 101-114.

Van Cleve, K. et Noonan, L.L. 1975. Litter fall and nutrient cycling in the forest floor of birch and aspen stands in interior Alaska. *Can. J. For. Res.* 5 : 626-639.

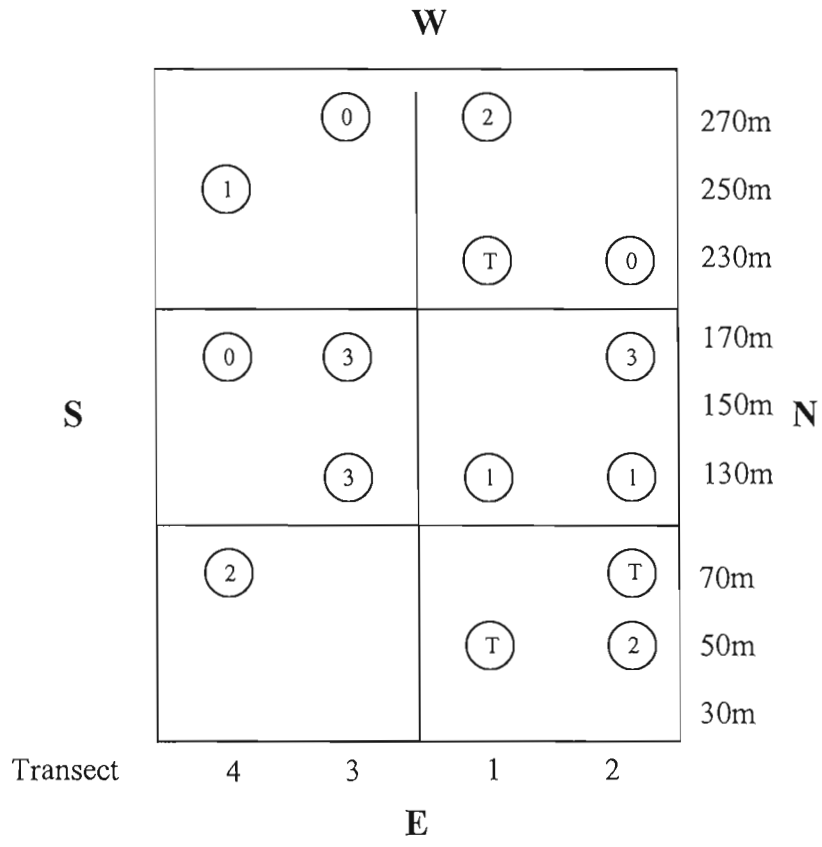
Vandermeer, J.H. 1989. The ecology of intercropping. Cambridge University Press. Cambridge. 237 p.

Vincent, J.S. et Hardy, L. 1977. L'évolution et l'extinction des lacs glaciaires Barlow et Ojibway en territoire québécois. *Géorg. Phys. Quat.* 31: 357-372.

Whitney, G.G. et Foster, D. R. Overstorey composition and age as determinants of the understorey flora of woods of central New England. 1988. *J. Ecol.* 76 : 867-876.

ANNEXE 1

Plan de répartition des parcelles expérimentales : Bloc 1.



Légende :

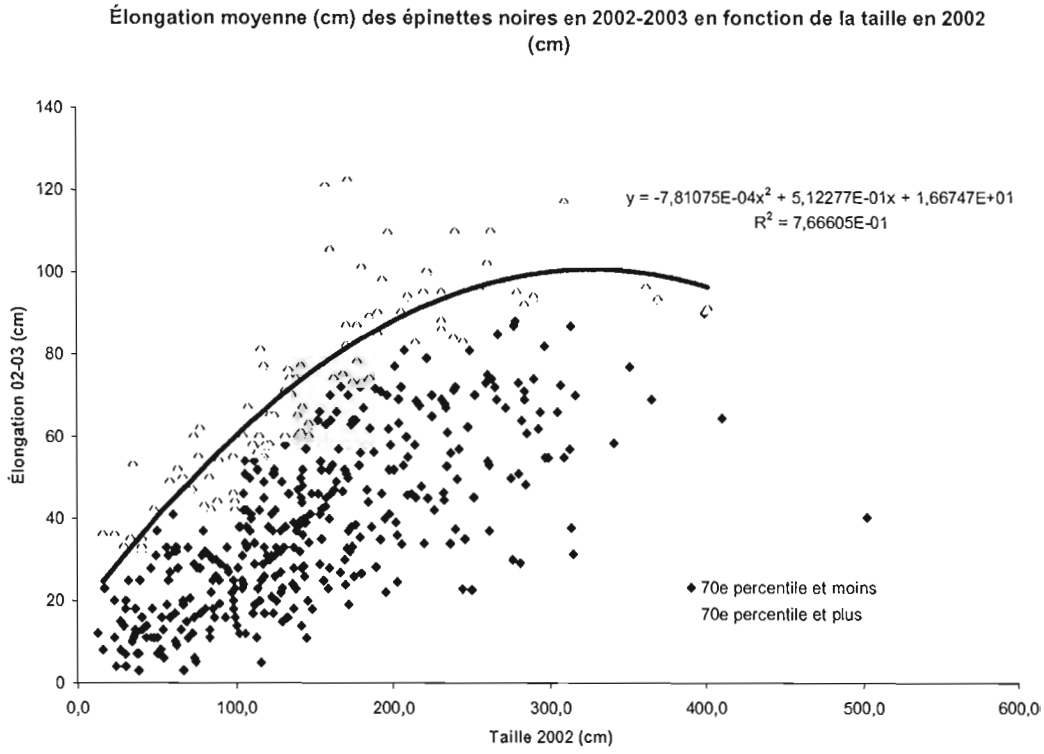
T	Parcelle Témoin
0	0 PET/ha
1	65 PET/ha
2	130 PET/ha
3	195 PET/ha

ANNEXE 2

Surface terrière (m^2/ha) et quantité de peupliers faux-tremble présente dans les parcelles expérimentales avant et après l'exécution de l'éclaircie précommerciale.

Bloc	Parcelle	Surface terrière de peupliers (m^2/ha)		Quantité de peupliers	
		Avant traitement	Après traitement	Avant traitement	Après traitement
1	1	0,4093	1,0989	5	5
1	2	0,1884	0,0372	4	1
1	3	0,5782	0,6504	14	12
1	4	0,0065	0,0162	3	3
1	5	0,5522	0,2416	9	3
1	6	1,1953	1,1208	10	2
1	7	0,5911	0,1176	5	1
1	8	0,3183	0,3521	3	3
1	9	0,0585	0,0000	4	0
1	10	0,0325	0,0550	3	3
1	11	0,0650	0,0840	4	3
1	12	0,0844	0,0000	5	0
1	13	0,3248	0,2196	5	3
1	14	0,0974	0,0000	2	0
1	15	0,1689	0,0900	2	1
2	1	0,2533	0,3562	17	15
2	2	0,0650	0,0613	10	2
2	3	0,0585	0,1456	3	5
2	4	0,1039	0,0000	2	0
2	5	0,0065	0,0147	3	1
2	6	0,3833	0,0468	13	5
2	7	0,4352	0,0018	7	1
2	8	0,0195	0,0560	6	3
2	9	0,1169	0,1419	5	3
2	10	0,2339	0,0000	16	0
2	11	0,1039	0,1166	4	2
2	12	0,2079	0,2088	2	2
2	13	0,1364	0,1600	3	1
2	14	0,1894	0,4411	18	15
3	1	0,7535	0,5691	11	8
3	2	0,2533	0,0033	5	1
3	3	0,0390	0,0362	5	2
3	4	0,0650	0,0845	3	3
3	5	0,2598	0,1127	6	1
3	6	0,0520	0,0000	2	0
3	7	0,1819	0,0000	2	0
3	8	0,0715	0,0918	5	4
3	9	0,6951	0,2803	8	6
3	10	0,7016	0,2500	19	1
3	11	0,0130	0,0000	5	0
3	12	0,3768	0,0131	11	1
3	13	1,7604	1,9699	18	17

ANNEXE 3


Élongation moyenne (cm) des épinettes noires en 2002-2003 en fonction de la taille en 2002 (cm)
y = -7,81075E-04x² + 5,12277E-01x + 1,66747E+01
R² = 7,66605E-01
70e percentile et moins
70e percentile et plus
Élongation 02-03 (cm)
Taille 2002 (cm)
0
20
40
60
80
100
120
140
0,0
100,0
200,0
300,0
400,0
500,0
600,0

ANNEXE 4

Corrélation de chacune des variables environnementales en fonction de la surface terrière de peupliers (m^2/ha) avant le traitement.

Variable	Coefficient de corrélation de Pearson	ρ
CEC	0,4779	0,0016
% C couche organique	-0,0322	0,8417
% N couche organique	0,2252	0,1569
pH à l'eau	0,1400	0,3824
pH $CaCl_2$	0,2368	0,1360
Épaisseur matière organique	-0,0566	0,7256
Hauteur nappe phréatique	-0,0397	0,8051

ANNEXE 5

Recouvrement moyen des espèces de sous-bois par bloc pour les trois années d'échantillonnage

Code	non latin	Recouvrement moyen 2003 Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3	Recouvrement moyen 2004 Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3	Recouvrement moyen 2005 Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3
aba	*Abies balsamea* (L.) Mill	7,50	12,67	15,44	0,00	0,00	8,25	15,00	15,00	15,00
alru	*Alnus rugosa* (DuRoi)	29,07	31,88	20,48	10,38	11,8	18,85	17,14	19,58	20,77
anma	*Anaphalis margaritacea* (L.) Benth. & Hook.	0,00	1,50	0,00	0,00	13,33	0,00	0,00	9,00	0,00
asma	*Aster macrophyllus* L.	0,00	5,42	1,71	0,00	11,43	14,36	20,00	11,79	0,00
aste	*Aster spp.*	0,00	4,00	0,00	5,67	12,92	10,80	7,00	8,67	10,64
care	*Carex spp.*	11,32	8,08	8,36	11,29	5,03	5,07	6,11	3,44	5,38
chca	*Chamaedaphne calyculata* (L.) D. Don.	10,42	0,00	16,87	14,70	0,00	21,70	17,14	0,00	16,48
clbo	*Clintonia borealis* (Ait.) Raf	3,80	0,00	2,46	7,50	0,00	0,00	10,81	15,79	0,00
coca	*Cornus canadensis* L.	9,15	7,27	5,35	10,84	13,91	11,19	13,98	0,00	11,50
cogr	*Coptis groenlandica* (Oeder) Fern.	1,21	1,84	1,38	4,62	7,60	10,00	5,75	6,92	6,33
epan	*Epilobium angustifolium* L.	4,18	7,17	0,00	9,06	13,70	10,68	6,54	9,88	7,20
epn	*Picea mariana* (Mill.) BSP.	18,38	11,27	13,43	14,77	11,83	10,58	15,36	13,75	10,89
eqsy	*Equisetum sylvaticum* L.	5,47	4,41	7,19	11,53	4,80	13,18	3,16	3,75	4,49
foug	fougère spp.	1,00	1,33	1,75	0,00	15,58	12,00	0,00	5,43	10,00
frvi	*Fagaria virginiana* Duchesne	1,67	4,12	4,06	0,00	12,43	16,13	0,00	12,86	7,57
gahi	*Gaulteria hispidula* L. Mühl.	4,67	2,44	5,71	7,25	13,35	13,11	7,84	13,00	11,83
gatr	*Galium triflorum* Michx	0,00	1,00	1,00	0,00	4,56	10,22	0,00	6,40	8,00
gram	Graminé spp.	16,92	29,11	5,99	6,53	5,88	2,64	3,35	2,10	1,28
hier	*Hieracium spp.*	3,00	4,47	15,00	8,00	9,285	16,95	5,00	8,92	20,00
kalm	*Kalmia spp.*	2,82	0,00	8,38	16,46	0,00	7,78	18,08	18,67	0,00
legr	*Ledum groenlandicum* Retz.	10,21	1,00	15,94	11,34	15,00	15,76	14,51	0,00	16,73
libo	*Linnaea borealis* L.	1,00	1,00	2,31	0,00	14,00	13,41	4,00	7,50	10,00
lyan	*Lycopodium annotinum* L.	4,22	0,00	3,25	10,50	0,00	5,20	7,25	0,00	6,00
maca	*Maianthemum canadense* Desf.	1,88	2,28	1,35	8,12	11,56	5,59	9,23	8,36	5,50
mel	*Larix laricina* (Du Roi) K. Koch	5,00	1,00	4,50	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Code	nom latin	Recouvrement moyen 2003			Recouvrement moyen 2004			Recouvrement moyen 2005		
		Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3	Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3	Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3
mepa	*Mertensia paniculata* (Ait) G. Don	0,00	4,11	0,00	10,00	13,38	0,00	0,00	20,00	0,00
mous	Mousse spp.	4,40	2,00	5,08	5,33	10,83	5,60	19,58	31,00	16,67
pepa	*Petasites palmatus* (Ait.) Gray	4,08	7,71	3,64	9,26	11,36	9,63	11,37	14,36	9,27
pet	*Populus tremuloides* Michx.	1,00	6,25	16,29	8,50	5,00	15,00	15,00	0,00	10,00
pleu	*Pleurozium schreberi* (BSG.) Mitt	10,61	8,07	14,63	15,54	16,91	23,37	19,40	15,89	19,16
pob	*Populus balsamifera* L.	0,00	2,67	2,75	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00
poly	*Polytrichum spp.*	5,10	12,43	8,23	10,92	15,58	14,03	9,74	10,43	13,56
rigl	*Ribes glandulosum* Grauer	7,80	13,16	11,00	16,72	24,00	22,26	15,00	17,77	14,67
roac	*Rosa acicularis* Lindl.	0,00	5,00	0,00	0,00	13,33	0,00	0,00	20,00	0,00
ruch	*Rubus chamaemorus* L.	2,00	1,33	2,22	5,00	0,00	10,57	5,00	0,00	7,08
ruid	*Rubus idaeus* L.	11,39	14,06	7,89	14,33	16,03	17,29	17,06	16,57	16,7
rupu	*Rubus pubescens* Raf.	5,40	7,24	8,80	7,50	14,31	19,7	10,00	22,85	12,5
sali	*Salix spp.*	20,17	18,02	23,46	12,09	14,00	18,64	17,93	19,84	18,75
smil	*Smilacina spp.*	0,00	0,00	0,00	12,50	0,00	9,33	7,38	0,00	6,25
soli	*Solidago spp.*	3,17	10,40	4,63	0,00	0,00	0,00	7,63	16,17	14,4
spha	*Sphagnum spp.*	34,74	16,59	28,19	29,32	22,50	37,03	27,31	20,42	30,82
taof	*Taraxacum officinale* Weber	0,00	4,00	0,00	25,00	9,77	5,00	0,00	10,11	0,00
trbo	*Trientalis borealis* Raf.	1,30	1,11	1,06	4,72	6,22	5,75	6,31	5,70	5,38
tyla	*Typha latifolia* L.	1,50	0,00	5,00	4,28	5,00	0,00	7,50	0,00	10,00
vaan	*Vaccinium angustifolium* Ait.	6,32	12,50	9,11	12,67	0,00	16,94	13,21	0,00	19,77
vamy	*Vaccinium myrtilloides* Michx	12,56	1,67	9,47	14,75	10,00	20,24	17,12	11,67	20,93
vaox	*Vaccinium oxycoccos* L.	4,75	1,00	7,24	7,44	6,35	11,76	6,53	0,00	8,56
viol	*Viola spp*	3,06	1,97	1,90	7,10	0,00	10,55	7,06	7,16	7,50

ANNEXE 6

Recouvrement moyen total des espèces de sous-bois par bloc pour les trois années d'échantillonnage

Recouvrement moyen total 2003			Recouvrement moyen total 2004			Recouvrement moyen total 2005		
Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3	Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3	Bloc 1	Bloc 2	Bloc 3
292,24	294,55	332,50	406,53	422,57	526,14	447,38	465,75	467,56