

Effets de trouées sylvicoles sur l'établissement de la régénération d'une érablière à bouleau jaune après cinq ans



Mémoire de recherche forestière n° 159

Direction de la recherche forestière

par

Steve Bédard et Josianne DeBlois

Effets de trouées sylvicoles sur l'établissement de la régénération d'une érablière à bouleau jaune après cinq ans

Mémoire de recherche forestière n° 159

par

Steve Bédard, ing.f., M. Sc.

et

Josianne DeBlois, stat., M. Sc.

Gouvernement du Québec
Ministère des Ressources naturelles et de la Faune
Direction de la recherche forestière
2010

Mandat de la DRF

La Direction de la recherche forestière (DRF) a pour mandat de participer activement à l'amélioration de la pratique forestière au Québec en réalisant des travaux, principalement à long terme et d'envergure provinciale, qui intègrent des préoccupations de recherche fondamentale et appliquée. Elle subventionne aussi des recherches universitaires à court ou à moyen terme. Ces recherches, importantes pour le ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF), sont complémentaires aux travaux de la DRF ou réalisées dans des créneaux où elle ne s'implique pas. Elle contribue à la diffusion de nouvelles connaissances, d'avis et de conseils scientifiques et à l'intégration de ces nouvelles connaissances ou savoir-faire à la pratique forestière.

Les mémoires de recherche forestière de la DRF

Depuis 1970, chacun des Mémoires de recherche forestière de la DRF est révisé par un comité *ad hoc* formé d'au moins trois experts indépendants. Cette publication est produite et diffusée à même les budgets de recherche et de développement, comme autant d'étapes essentielles à la réalisation d'un projet ou d'une expérience. Ce document à tirage limité est également disponible dans notre site Internet en format pdf.

Vous pouvez adresser vos demandes à :

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune
Direction de la recherche forestière
2700, rue Einstein, Québec (Québec)
Canada, G1P 3W8
Courriel : recherche.forestiere@mrnf.gouv.qc.ca
Internet : www.mrnf.gouv.qc.ca/forets/connaissances/recherche

© Gouvernement du Québec

On peut citer ce texte en indiquant la référence.

Toutes les publications produites par la Direction de la recherche forestière, du ministère des Ressources naturelles et de la Faune, sont protégées par les dispositions de la Loi sur le droit d'auteur, les lois, les politiques et les règlements du Canada, ainsi que par des accords internationaux. Il est interdit de reproduire, même partiellement, ces publications sans l'obtention préalable d'une permission écrite.

ISBN : 978-2-550-58581-7
ISBN (PDF) : 978-2-550-58582-4
F.D.C. 231
L.C. SD 391

Notes biographiques



Steve Bédard est ingénieur forestier, diplômé de l'Université Laval depuis 1992. En 1998, le même établissement lui décerne un diplôme de maîtrise ès sciences. De 1992 à 1998, il a occupé des postes de chargé de recherche à l'Université Laval et dans des organismes privés de recherche et de transfert de connaissances. Depuis 1998, il est à l'emploi de la Direction de la recherche forestière et ses travaux portent sur la sylviculture des forêts feuillues et mélangées. Il s'intéresse particulièrement aux effets de différents traitements sylvicoles sur la croissance, la régénération et la qualité des tiges dans les peuplements à dominance d'érable à sucre et de bouleau jaune.



Josianne DeBlois, statisticienne diplômée depuis 1995, détient une maîtrise ès sciences en statistique (1996). À l'emploi de la Direction de la recherche forestière de 1996 à 1999, elle joint de nouveau cette direction en 2003, après avoir travaillé à Citibank Canada à Toronto et au Secrétariat du Conseil du trésor. Elle travaille au sein de l'équipe de biométrie où elle collabore à différents projets de recherche en réalisant les activités d'analyses statistiques.

Remerciements

Les auteurs désirent remercier M. Zoran Majcen pour son aide et ses conseils lors de l'établissement du dispositif, M. Pierrot Boulay et les étudiants pour la cueillette des données sur le terrain. Nous remercions également MM. Michel Chalifoux et Denis Moreault de l'unité de gestion des Laurentides du MRNF pour leur précieuse collaboration lors de la

planification des opérations forestières. Des remerciements s'adressent également aux trois réviseurs anonymes pour leurs commentaires constructifs ainsi qu'à M. Pierre Bélanger, Mmes Sylvie Bourassa et Suzanne Mailloux pour la révision linguistique, l'édition et la mise en page du texte.

Résumé

Afin d'étudier la dynamique d'établissement de la régénération dans des trouées sylvicoles, nous avons créé douze trouées circulaires soit : quatre de 15 m de diamètre ($333,5 \pm 15,2 \text{ m}^2$), quatre de 25 m de diamètre ($779 \pm 33,4 \text{ m}^2$) et quatre de 35 m de diamètre ($1\,622,5 \pm 41,7 \text{ m}^2$) dans une érablière à bouleau jaune de la forêt Mousseau située dans la région des Hautes-Laurentides au Québec. Une préparation de terrain à l'aide de la lame d'une débousqueuse a été exécutée à l'intérieur de chaque trouée afin de perturber la litière et d'exposer le sol minéral. Deux ans après l'intervention, trois trouées choisies aléatoirement selon les trois diamètres expérimentés ont été clôturées afin d'exclure la présence du cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*). Les résultats obtenus montrent que la densité de tiges, dans les trouées non clôturées, ne diffère pas significativement selon l'espèce et le diamètre des trouées après deux et cinq saisons de croissance. L'érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh.) et le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britton.) sont les espèces commerciales les plus abondantes alors que le framboisier (*Rubus idaeus* L.) est l'espèce non commerciale la plus abondante. Le nombre de tiges d'érable à sucre a

diminué de façon significative durant la période de mesure, alors que le nombre de tiges de bouleau jaune et de framboisier n'a pas significativement fluctué. Le nombre de tiges de hauteur dominante ($> 1 \text{ m}$) de bouleau jaune pour les trouées clôturées est significativement plus élevé, cinq ans après l'intervention, que celui de l'érable à sucre alors que l'inverse est observé pour les trouées non clôturées. D'autre part, des corrélations positives entre les lits de germination et la densité des tiges sont obtenues pour : 1) la litière perturbée (exposition des horizons h et Ae) et le sol minéral (exposition de l'horizon B) pour le bouleau jaune, 2) la litière (horizons organiques L et F non perturbés) ainsi que la litière perturbée pour l'érable à sucre et 3) la litière perturbée pour le framboisier. Globalement, cinq ans après la coupe, les résultats montrent que tous les diamètres de trouée expérimentés sont favorables à une régénération abondante du bouleau jaune et de l'érable à sucre en dépit de l'abondance du framboisier observée. Toutefois, le broutement exercé par le cerf de Virginie sur les tiges de bouleau jaune pourrait réduire significativement la proportion de tiges de cette espèce en faveur de l'érable à sucre dans l'avenir.

Abstract

*In order to study the regeneration establishment dynamics in silvicultural gaps we created twelve circular gaps, four each of three diameters: 15 m ($333.5 \pm 15.2 \text{ m}^2$), 25 m ($779 \pm 33.4 \text{ m}^2$), and 35 m ($1622.5 \pm 41.7 \text{ m}^2$) in a sugar maple-yellow birch stand in the Mousseau Forest, located in the Hautes-Laurentides region of Québec. Site preparation using a skidder blade was done within each gap to disturb the litter and expose the mineral soil. Two years after the intervention, three gaps chosen randomly among the three experimented diameters, were fenced to exclude white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*). The results obtained show that stem density in unfenced gaps does not significantly differ by species and gap diameter after two and five growing seasons. Sugar maple (*Acer saccharum* Marsh.) and yellow birch (*Betula alleghaniensis* Britton.) are the most abundant commercial species, whereas raspberry (*Rubus idaeus* L.) is the most abundant non commercial species. The number of sugar maple stems was*

significantly reduced during the measurement period, whereas the number of yellow birch and raspberry stems did not fluctuate significantly. The number of yellow birch stems of dominant height (> 1 m) in fenced gaps is significantly higher five years after the intervention, than are sugar maple, whereas the inverse is observed for unfenced gaps. On the other hand, positive correlations between seed beds and stem density were obtained for: 1) the disturbed litter (exposure of horizons h and Ae) and mineral soil (exposure of B horizon) for yellow birch, 2) the litter (undisturbed organic horizons L and F) as well as the disturbed litter for sugar maple, and 3) the disturbed litter for raspberry. Overall, results show that five years after the cut, all experimented gap diameters favour abundant yellow birch and sugar maple regeneration in spite of the abundance of raspberry. However, browsing by white-tailed deer on yellow birch stems could significantly reduce the proportion of stems of this species in favour of sugar maple in future.

Table des matières

	page
Résumé	v
Abstract	vii
Liste des tableaux	xi
Liste des figures	xiii
Introduction	1
Chapitre premier – Matériel et méthode	3
1.1 Secteur d'étude	3
1.2 Dispositif expérimental et récolte de données	3
1.3 Relevés de régénération	6
1.4 Analyses statistiques.....	6
1.4.1 Effets de la taille des trouées sur le nombre de tiges.....	6
1.4.2 Effets des exclos sur le nombre de tiges des espèces commerciales	6
1.4.3 Effets des lits de germination sur le nombre de tiges	7
Chapitre deux– Résultats	9
2.1 Effets de la taille des trouées sur le nombre de tiges	9
2.1.1 Espèces commerciales	9
2.1.2 Espèces non commerciales	11
2.2 Effets des exclos sur le nombre de tiges des espèces commerciales	13
2.3 Effets des lits de germination sur le nombre de tiges	15
Chapitre trois – Discussion	17
3.1 Effets de la dimension des trouées sur la composition et la densité de la régénération.....	17
3.2 Effet du broutement exercé par le cerf de Virginie.....	17
3.3 Effets du framboisier sur la régénération	18
3.4 Effets des lits de germination sur la régénération	18
Conclusion	21
Références bibliographiques	23
Annexe I Espèces relevées dans cette étude	27

Liste des tableaux

	page
Tableau 1. Recouvrement moyen selon le type de lits de germination	5
Tableau 2. Analyse de la variance sur le nombre de tiges à l'hectare des espèces commerciales pour les périodes deux et cinq ans après la coupe	10
Tableau 3. Moyennes ajustées du nombre moyen de tiges à l'hectare pour les espèces commerciales selon la classe de hauteur et la période de mesure	10
Tableau 4. Analyse de la variance sur le nombre de tiges à l'hectare des espèces non commerciales pour les périodes deux et cinq ans après la coupe	12
Tableau 5. Moyennes ajustées du nombre de tiges à l'hectare des espèces non commerciales selon la classe de hauteur et la période de mesure	12
Tableau 6. Analyse de la variance sur le nombre de tiges à l'hectare des espèces commerciales de la classe de hauteur de 101 cm et plus, dans les trouées clôturées ou non, 5 ans après la coupe	14
Tableau 7. Moyennes ajustées du nombre de tiges à l'hectare des espèces commerciales de la classe de hauteur de 101 cm et plus, dans les trouées avec ou sans exclos, pour l'année 2005.....	14
Tableau 8. Modèle final de régression linéaire obtenu pour chacune des trois espèces concernant l'effet des lits de germination sur le nombre de tiges observé en 2003.....	15

Liste des figures

	page
Figure 1. Vue aérienne du dispositif expérimental.	5
Figure 2. Nombre moyen de tiges des espèces commerciales selon le diamètre relatif à la hauteur dominante des trouées et la période de mesure	9
Figure 3. Nombre moyen de tiges des espèces non commerciales selon le diamètre relatif à la hauteur dominante des trouées et la période de mesure	11
Figure 4. Moyennes ajustées du nombre de tiges à l'hectare des espèces commerciales avec et sans exclos en 2005 selon le diamètre relatif à la hauteur dominante des trouées.	13

Introduction

La coupe de jardinage par pied d'arbre est un traitement fréquemment proposé dans les forêts de feuillus de structure inéquienne à dominance d'érable à sucre du nord-est de l'Amérique du Nord (NYLAND 2002). Les ouvertures du couvert créées par cette coupe sont relativement petites et favorisent davantage les espèces tolérantes à l'ombre préétablies (LEAK et WILSON 1958, BLUM et FILIP 1963, CROW et METZGER 1987). Afin d'augmenter la proportion des espèces semi-tolérantes et intolérantes à l'ombre, l'inclusion de trouées dans les coupes partielles a été proposée depuis longtemps par plusieurs auteurs du nord-est des États-Unis (EYRE et ZILLGITT 1953, MARQUIS 1965, LEAK et FILIP 1977) et au Québec (HATCHER 1966, ROBITAILLE et MAJCEN 1991). Ce n'est toutefois que plus récemment, avec la constatation de la diminution de l'abondance du bouleau jaune, que les trouées sylvicoles ont été adoptées dans la pratique courante au Québec.

Le Manuel d'aménagement forestier du Québec (MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, DE LA FAUNE ET DES PARCS 2003) propose d'avoir recours à la coupe de jardinage par trouées ou à la coupe de jardinage par pied d'arbre et par groupe d'arbres pour régénérer le bouleau jaune dans les érablières. La première variante propose d'utiliser des trouées d'une dimension variant de 500 à 1 500 m². Ces trouées doivent couvrir environ 10 % de la surface du peuplement et les superficies qui leur sont adjacentes doivent faire l'objet d'un prélèvement partiel d'environ 30 %. L'autre variante propose de prélever au total 30 % du volume en effectuant une coupe de jardinage par pied d'arbre et par petits groupes d'arbres dont les superficies de ces

dernières varient de 200 à 500 m². Ces ouvertures doivent également être jumelées à une préparation de terrain afin d'exposer le sol minéral et favoriser l'établissement du bouleau jaune.

Bien que les trouées soient proposées dans le Manuel d'aménagement forestier du Québec (MAF), leurs effets sylvicoles dans les érablières demeurent peu connus. De même, leur intégration dans la pratique pose certaines difficultés. Néanmoins, les travaux de HATCHER (1966) ont démontré le potentiel des trouées circulaires de 400 m² et de 1 000 m² jumelées à un scarifiage léger exécuté manuellement afin d'établir la régénération du bouleau jaune dans une érablière à bouleau jaune de la région de Québec. De même, RAYMOND *et al.* (2003) ont obtenu un effet positif de l'établissement du bouleau jaune et des essences compagnes dans des trouées de 1 590 m² (45 m de diamètre) scarifiées manuellement et mécaniquement dans des peuplements mélangés de feuillus tolérants à pin blanc de la région de l'Outaouais. La présente étude a pour but d'améliorer nos connaissances sur la régénération du bouleau jaune et des espèces compagnes selon un gradient de dimension de trouées scarifiées mécaniquement dans une érablière à bouleau jaune de la région des Hautes-Laurentides. Les objectifs spécifiques de cette étude sont : 1) de comparer les effets d'un gradient de dimensions des trouées sur l'établissement de la régénération, 2) d'évaluer l'effet du broutement par le cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus*) sur la composition et le développement de la régénération et 3) d'évaluer l'effet de la préparation de terrain sur l'établissement de la régénération.

Chapitre premier

Matériel et méthode

1.1 Secteur d'étude

Le dispositif expérimental est localisé dans la forêt d'enseignement et de recherche Mousseau située à environ 200 km au nord-ouest de Montréal près de la municipalité de Sainte-Véronique dans les Hautes-Laurentides. La forêt Mousseau s'étend sur une superficie d'environ 35 km² entre les latitudes 46° 33' et 46° 37' nord et les longitudes 74° 54' et 74° 59' ouest. Elle fait partie du sous-domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune de l'ouest (SAUCIER *et al.* 1998) et elle se situe dans la région écologique 3b-collines du lac Nominique et plus précisément dans la sous-région écologique 3 b-T (GOSSELIN 2002). Le territoire est dominé par des érablières qui sont en majorité composées d'érable à sucre, de bouleau jaune et de hêtre à grandes feuilles. La température annuelle moyenne est de 3,0 °C et les précipitations annuelles moyennes sont de 1 076 mm.

Le relief du secteur est ondulé, composé de collines arrondies entourées de pentes modérément abruptes à douces. Les sommets des collines atteignent des altitudes variant de 400 à 500 m, les plus basses s'élèvent à près de 275 m. Le territoire de la forêt Mousseau est caractérisé par une forte prédominance de tills. D'autres types de dépôts, notamment fluvio-glaciaires, organiques, alluvions récentes et colluvions, occupent très peu de surface et se retrouvent principalement dans les dépressions au bas des pentes. Selon Lajoie (1967), les sols du secteur font généralement partie de la série Sainte-Agathe et sont dérivés de roches précambriennes : gneiss, granite, gabbro, anorthosite. Ces sols sont formés de loam sableux et appartiennent aux podzols.

1.2 Dispositif expérimental et récolte de données

Le dispositif est situé à une latitude de 46° 35' 30" nord et à une longitude de 74° 58' 45" ouest. Il se trouve à mi-pente d'une érablière à bouleau jaune à une altitude variant de 330 à 360 m avec une légère exposition sud-ouest. Selon la classification écologique de RICHARD *et al.* (1982), le dispositif est situé dans une érablière à sucre à bouleau jaune typique sur un till épais et un drainage variant de modérément bon à bon ce qui correspond

aujourd'hui au type écologique FE32 (SAUCIER *et al.* 1998). Ce peuplement a probablement subi des coupes à diamètre limite du bouleau jaune par le passé (MAJCEN *et al.* 1984). La dernière intervention, avant l'établissement du dispositif, est une coupe de jardinage avec un prélèvement d'environ 30 % de la surface terrière, exécutée en 1985.

Le dispositif comprend 12 trouées circulaires dont 4 trouées circulaires de 15 m de diamètre, 4 de 25 m de diamètre et 4 autres de 35 m de diamètre. Le diamètre des trouées correspond à la définition de trouée agrandie (*expanded gap*) de RUNKLE (1992), c'est-à-dire que le diamètre est mesuré à partir des troncs des arbres de bordure en passant par le centre de la trouée. L'emplacement des trouées a été déterminé à l'aide de transects parallèles situés à l'intérieur du peuplement. Les transects étaient séparés par une distance de 70 m pour conserver une lisière de forêt intacte minimale de 30 m entre deux trouées. Le long des transects, les emplacements propices à la création d'une trouée ont été identifiés en s'assurant que la distance entre ceux-ci était d'au moins 70 m pour les raisons décrites précédemment. L'emplacement était retenu s'il y avait au moins un semencier de bouleau jaune dans un rayon d'environ 35 m et que la composition des espèces correspondait à celle du peuplement principal. Les dépressions humides ont été écartées. Ainsi, 12 points ont été retenus le long des transects. Chacun de ces 12 points s'est vu attribuer au hasard un des diamètres sélectionnés afin de constituer un plan d'expérience complètement aléatoire.

Afin de caractériser le peuplement avant la coupe, une placette-échantillon dendrométrique circulaire de 400 m² a été établie pour chacun des 12 points retenus. Les tiges de 10 cm et plus au dhp situées à l'intérieur des placettes ont été identifiées et dénombrées par classe de 2 cm. Les gaules (tiges de 1,1 à 9,0 cm au dhp) ont également été identifiées et dénombrées dans une sous-placette de 40 m² située au centre des placettes dendrométriques. La régénération (tiges ≤ 1 cm au dhp) a également été dénombrée dans une placette circulaire de 4 m² située au centre des placettes dendrométriques. Les valeurs dendrométriques calculées à partir de ces placettes-échantillons (moyenne ± une erreur-type)

indiquent que le peuplement a une surface terrière marchande moyenne de $27,1 \pm 1,9 \text{ m}^2/\text{ha}$. L'érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh), le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britton) et le sapin baumier (*Abies balsamea* L. Mill) sont les principales espèces commerciales et occupent respectivement 65,7, 24,5 et 5,2 % de la surface terrière du peuplement. Les autres espèces feuillues et les autres espèces résineuses occupent respectivement 2,5 et 2,1 % de la surface terrière du peuplement. Les autres espèces feuillues regroupent l'érable rouge (*Acer rubrum* L.), le hêtre à grandes feuilles (*Fagus grandifolia* Ehrh.) et le frêne noir (*Fraxinus nigra* March.) alors que les autres espèces résineuses sont composées d'épinette rouge (*Picea rubens* Sarg.), de pruche (*Tsuga canadensis* (L.) Carr.) et de thuya (*Thuja occidentalis* L.).

Le nombre moyen de gaules dans le peuplement est de $2\,896 \pm 648$ tiges/ha. Les espèces commerciales présentes parmi les gaules sont l'érable à sucre (64,7 %), le bouleau jaune (13,7 %), le hêtre à grandes feuilles (2,9 %) et l'épinette rouge (0,7 %). Les espèces non commerciales sont composées d'érable de Pennsylvanie (*Acer pensylvanicum* L.) et d'érable à épis (*Acer spicatum* Larn.). Ces espèces comptent respectivement 14,4 et 3,6 % de l'ensemble des gaules. Le nombre moyen de tiges $\leq 1 \text{ cm}$ au dhp, est de $284\,583 \pm 27\,231$ tiges/ha, elles sont en majorité composées d'érable à sucre (96 %), de bouleau jaune (1,8 %) et d'autres espèces commerciales (0,4 %). Ces autres espèces comprennent le hêtre à grandes feuilles, l'érable rouge et le sapin baumier. Les espèces non commerciales représentent 1,8 % du nombre total de tiges et comprennent le cerisier de Virginie (*Prunus virginiana* L.), l'érable à épis et l'érable de Pennsylvanie.

Toutes les tiges situées à l'intérieur des trouées circulaires ont été marquées et coupées en novembre de l'année 2000 à l'aide d'une abatteuse groupeuse. Le débardage a été exécuté en tronc entier à l'aide d'une débusqueuse à câbles. Les déchets de coupe ont été déblayés de la surface coupée à l'aide de la débusqueuse et un scarifiage partiel du sol a été effectué à l'aide de la lame de la débusqueuse lors de cette opération. Une partie de la superficie coupée de deux des quatre trouées de 15 m de diamètre, a dû être scarifiée manuellement puisque la débusqueuse n'avait pu créer suffisamment de microsites propices à l'établissement du bouleau jaune. Il est à noter qu'aucun prélèvement n'a été effectué à l'extérieur des trouées. La quantité de semences de bouleau jaune et des autres espèces de ce dispositif n'a pas été évaluée

mais nos observations, lors de la création des trouées, indiquent que l'année 2000 était une bonne année semencière pour le bouleau jaune.

Au printemps 2001, le périmètre des trouées a été mesuré à partir des arbres vivants situés à la bordure de celles-ci en mesurant la distance et l'azimut entre chaque tige. L'espèce, le diamètre, la classe de vigueur et la hauteur de chaque tige de bordure ont été notés. La superficie moyenne de la trouée agrandie a été calculée à partir des polygones formés par les tiges de bordure. Les superficies moyennes respectives ($\pm$ une erreur-type) des trouées de 15, 25 et 35 m de diamètre sont $333,5 \pm 15,2 \text{ m}^2$, $779 \text{ m}^2 \pm 33,4$ et $1\,622,5 \pm 41,7 \text{ m}^2$. La hauteur des tiges dominantes situées à la bordure des trouées est de 25 m. Ainsi, les trouées expérimentées représentent respectivement un rapport de 0,6 H, 1,0 H et 1,4 H dont H est la hauteur des tiges dominantes. La figure 1 illustre la disposition des trouées dans le peuplement étudié.

À la même période, des placettes de 25 m^2 (5 m x 5 m) ont été installées à équidistances selon des axes perpendiculaires nord-sud et est-ouest dont l'intersection était située au centre de la trouée. Ces placettes ont servi à évaluer les lits de germination après la coupe. Quatre placettes supplémentaires ont été ajoutées dans les trouées de 25 et 35 m de diamètre selon les axes intermédiaires nord-nord-est, sud-sud-est, sud-sud-ouest et nord-nord-ouest. Ainsi, on compte respectivement 5, 9 ou 13 placettes selon le diamètre de la trouée. Afin de faciliter le travail d'évaluation sur le terrain, chaque placette a été subdivisée en quatre sous-placettes de 2,5 m x 2,5 m. Le recouvrement (%) des lits de germination de ces sous-placettes a été évalué selon les catégories suivantes : 1) la litière de feuilles (horizons organiques L et F non perturbés) 2) la litière perturbée (exposition des horizons h et Ae) et 3) le sol minéral (exposition de l'horizon B). De plus, le recouvrement des débris ligneux (souches et bois au sol) ainsi que celui des autres éléments composant la surface du sol (roche, assise rocheuse, eau et mousses) ont été évalués. Le tableau 1 présente la couverture obtenue par type de lits de germination. Globalement, on constate que la préparation de terrain a créé en moyenne 55,2 % de lits de germination réceptifs composés de litière perturbée et de sol minéral dont les pourcentages de recouvrement moyen respectifs sont de 29,3 et 25,9 %. Les autres lits de germination les plus importants par ordre décroissant sont la litière (23,0 %), les débris ligneux (13,1 %) et la catégorie autres (8,8 %).

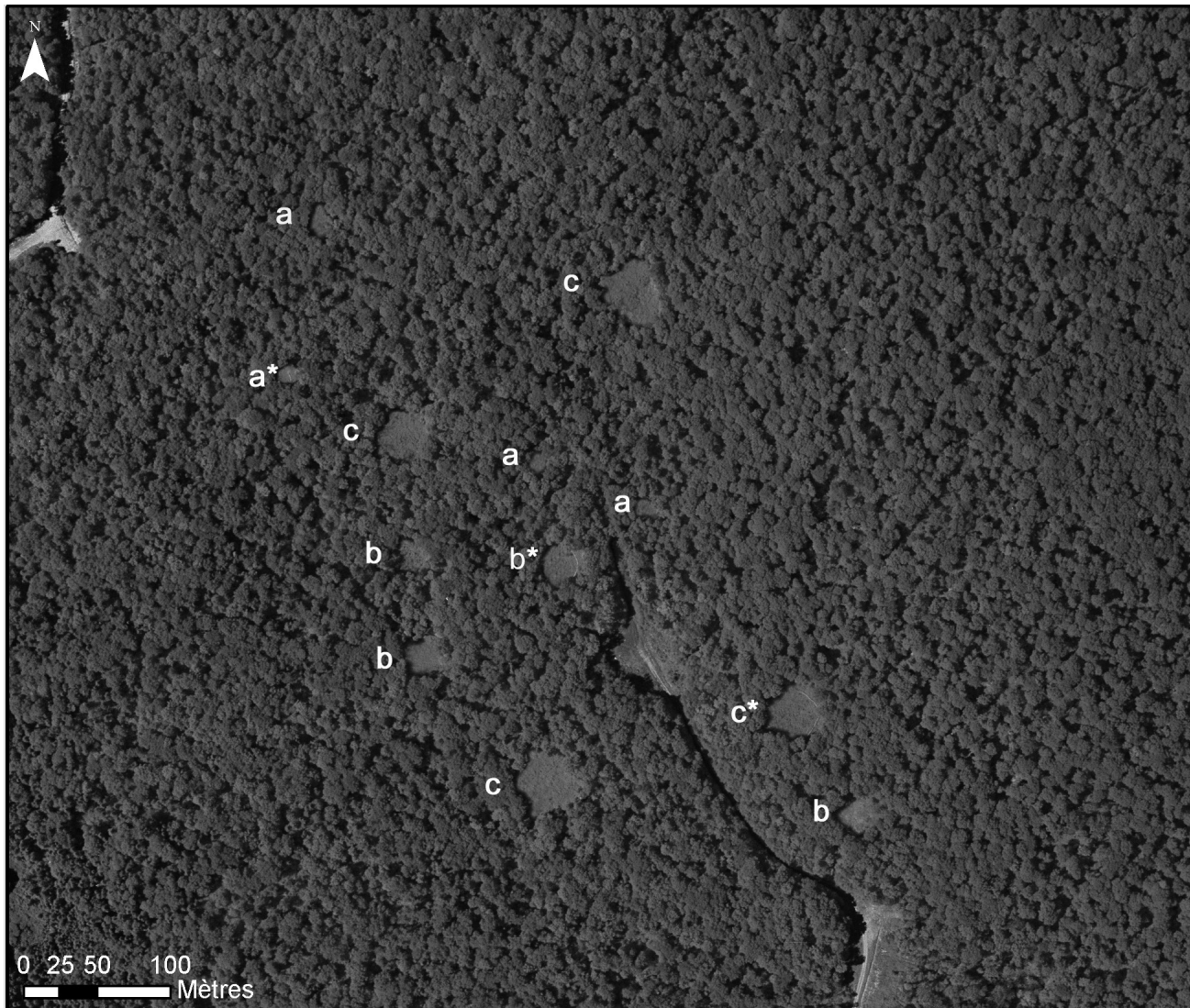


Figure 1. Vue aérienne du dispositif expérimental. Les lettres a, b et c situées à gauche des trouées identifient respectivement les trouées de 15, 25 et 35 m de diamètre. Les lettres suivies d'un astérisque (*) identifient les trouées clôturées.

Tableau 1. Recouvrement moyen selon le type de lits de germination

Diamètre	Pourcentage de recouvrement (%)				
	Litière	Litière perturbée	Sol minéral	Débris ligneux	Autres
0,6 H	21,6 ± 5,2	29,4 ± 5,8	28,2 ± 5,1	10,9 ± 1,8	9,8 ± 1,8
1,0 H	25,2 ± 2,7	21,2 ± 2,9	34,1 ± 3,1	12,8 ± 1,3	6,8 ± 1,2
1,4 H	22,2 ± 2,4	37,3 ± 2,8	15,4 ± 2,1	15,5 ± 1,4	9,7 ± 1,0
Tous	23,0 ± 1,1	29,3 ± 4,7	25,9 ± 5,5	13,1 ± 1,3	8,8 ± 1,0

À l'automne 2002, trois trouées (une de 0,6 H, une de 1,0 H et une autre de 1,4 H) sélectionnées aléatoirement ont été clôturées sur l'ensemble de leur périmètre afin d'exclure la présence du cerf de Virginie (Figure 1).

1.3 Relevés de régénération

Au début de l'été 2003, soit au tout début de la troisième saison de croissance après la coupe, et à la fin de l'été 2005 (cinq saisons complètes de croissance après la coupe), quatre placettes de 1 m² (1 m x 1 m) situées au centre des quatre sous-placettes de 2,5 m x 2,5 m ont été établies. Toutes les tiges d'espèces commerciales et non commerciales, énumérées à l'annexe 1, ont été dénombrées dans ces placettes selon les classes de hauteurs suivantes : 0-2 cm, 3-10 cm, 11-20 cm, 21-50 cm, 51-100 cm et 101 cm et plus. Ainsi, on compte 20, 36 et 52 placettes de régénération selon le diamètre de la trouée.

1.4 Analyses statistiques

Les données ont été analysées à l'aide de modèles linéaires mixtes généralisés (GLMM), lesquels permettent d'analyser des données provenant de distributions autres que la distribution normale, ce qui était nécessaire dans cette étude. La procédure *GLIMMIX* (SAS INSTITUTE INC. 2005) de SAS (version 9.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) a été utilisée. Lorsque les mesures prélevées sur les deux années étaient analysées dans un même modèle, une structure de covariance a été utilisée pour tenir compte de l'autocorrélation existant entre les mesures prélevées sur les mêmes unités expérimentales. Plusieurs structures de covariance ont été testées et la sélection finale de la structure était basée sur la valeur de la pseudo-vraisemblance obtenue (-2 Res Log Pseudo-Likelihood), la structure sélectionnée étant celle minimisant cette valeur, tout en ayant le moins de paramètres possibles. Lorsque des comparaisons multiples s'avéraient nécessaires, une approche par simulations (WESTFALL *et al.* 1999) a été utilisée pour déterminer où se situaient les différences. L'hypothèse de normalité des résidus et la présence de données aberrantes ont été vérifiées graphiquement. Le seuil théorique utilisé pour toutes les analyses statistiques a été fixé à 5 %.

1.4.1 Effets de la taille des trouées sur le nombre de tiges

Afin de déterminer les effets de la taille de la trouée sur le nombre de tiges, des analyses de la variance à mesures répétées ont été effectuées sur le nombre moyen de tiges à l'hectare par unité expérimentale. Cette dernière correspond à une trouée. Dans le but d'exclure les effets des exclos de cette analyse, les trouées clôturées n'ont pas été pris en compte à l'année 5 puisque les exclos ont été installés après 2 ans.

Les analyses ont été effectuées sur le nombre total de tiges à l'hectare de même que sur le nombre de tiges par classe de hauteur (0-20 cm, 21-50 cm, 51-100 cm et 101 cm et plus) en utilisant la distribution de Poisson et la fonction de lien logarithmique. Le modèle utilisé comprenait trois facteurs à effets fixes, soit l'année de la prise de données, le diamètre de la trouée et le groupe d'espèces, de même que les interactions entre ces facteurs. Un facteur à effets aléatoires, soit les répétitions de chaque diamètre de trouée, a également été pris en compte dans le modèle.

Des regroupements d'espèces ont été effectués puisque plusieurs d'entre elles ne comptaient qu'un faible nombre de tiges. Ainsi, une catégorie nommée autres espèces commerciales regroupe toutes les espèces commerciales à l'exception des deux principales espèces, soit l'érable à sucre et le bouleau jaune. Toutes les espèces non commerciales, ont été regroupées dans la catégorie autres espèces non commerciales à l'exception du framboisier (*Rubus idaeus* L.). La composition détaillée des groupes d'espèces est présentée à l'annexe 1.

Les espèces commerciales et non commerciales ont été analysées séparément. Dans le cas des espèces commerciales de la classe de hauteur de 101 cm et plus, les deux années ont également été analysées séparément car il était impossible de faire converger le modèle en raison du nombre de tiges trop faible en 2003.

1.4.2 Effets des exclos sur le nombre de tiges des espèces commerciales

Seules les données de 2005 ont été analysées puisque les exclos ont été installés à l'automne 2002. De plus, comme le broutement a surtout été observé sur les espèces commerciales, seules ces dernières font partie de l'analyse. Une analyse de

la variance a donc été effectuée sur le nombre total de tiges de même que sur le nombre de tiges par classe de hauteur selon les classes définies à la section précédente. La distribution de Poisson et la fonction de lien logarithmique ont également été utilisées dans les analyses, effectuées encore ici sur le nombre moyen de tiges à l'hectare par unité expérimentale. Le modèle utilisé comprenait trois facteurs à effets fixes, soit le diamètre de la trouée, le groupe d'espèces et la présence d'un exclos, de même que les interactions entre ces facteurs. Les répétitions de chaque diamètre de trouée constituaient le seul facteur à effets aléatoires.

1.4.3 Effets des lits de germination sur le nombre de tiges

L'effet des lits de germination sur le nombre total des tiges à l'hectare observé en 2003 a été analysé pour les trois espèces les plus importantes en nombre, soit le bouleau jaune, l'érable à sucre et le framboisier. Un modèle de régression a été construit

pour chaque espèce, à partir des valeurs obtenues de chaque placette, en utilisant encore une fois la distribution de Poisson et la fonction de lien logarithmique. Les variables indépendantes retenues étaient le diamètre de la trouée, le pourcentage de litière, de litière perturbée, de sol minéral, de débris ligneux et des autres lits de germination. Les répétitions des diamètres de trouée ont été définies comme facteur à effets aléatoires. La sélection finale des variables dans le modèle a été effectuée à l'aide de la méthode d'élimination descendante (*backward*). Lorsque plus d'une variable explicative se retrouvait dans le modèle final, les estimés des paramètres associés à chacune d'elles ont été comparés deux à deux à l'aide d'un test de Student. De plus, afin d'obtenir une mesure de la capacité explicative des modèles, la corrélation (coefficient de Pearson) entre les valeurs observées et celles prédites (en nombre de tiges à l'hectare) a été calculée. Cette corrélation représente une forme de coefficient de détermination (pseudo- R^2).

Chapitre deux

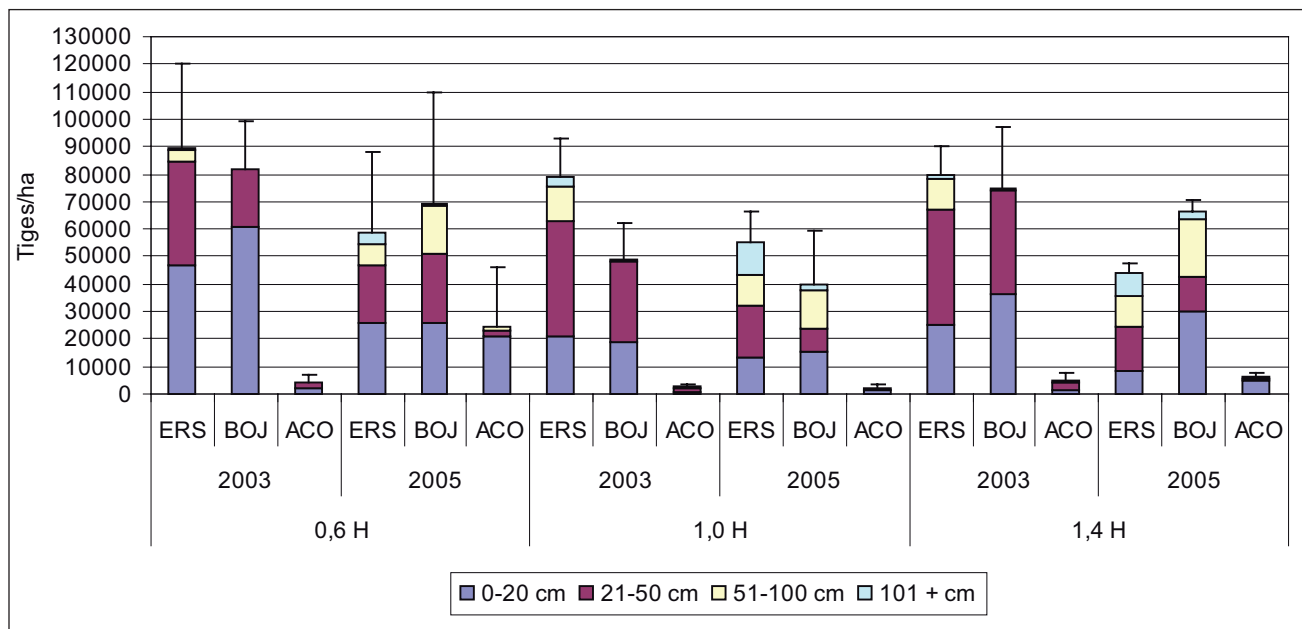
Résultats

2.1 Effets de la taille des trouées sur le nombre de tiges

2.1.1 Espèces commerciales

Le nombre moyen de tiges à l'hectare ($\pm$ une erreur-type) selon l'espèce, la classe de hauteur, le diamètre de la trouée et la période de temps est présenté à la figure 2 alors que les résultats des analyses de la variance sont présentés au tableau 2. Ces résultats révèlent que le diamètre de la trouée n'a pas d'effet significatif sur le nombre de tiges. Toutefois, le nombre de tiges diffère selon l'espèce ou selon l'interaction entre la période et l'espèce, dépendant de la classe de hauteur retenue. Lorsque l'interaction était significative, les périodes ont été comparées pour chacune des espèces alors que ces dernières ont été comparées deux à deux pour une même période.

Le tableau 3 présente les moyennes ajustées (*lsmeans*, $\pm$ une erreur-type) par espèce selon la période et la classe de hauteur de même que les résultats des tests de comparaisons multiples. Ces résultats montrent qu'en 2003, le nombre total de tiges d'érable à sucre et de bouleau jaune est significativement plus élevé que celui des autres espèces commerciales. Le nombre de tiges d'érable à sucre et de bouleau jaune représente respectivement 53,8 et 43,6 % des tiges des espèces commerciales alors que celui des autres espèces commerciales ne représentent que 2,6 % des tiges de ces espèces. En 2005, le nombre total de tiges d'érable à sucre a diminué significativement alors que celui des tiges de bouleau jaune est demeuré sensiblement le même. Le nombre de tiges des autres espèces commerciales a légèrement augmenté, mais cette augmentation n'est pas statistiquement significative. Ainsi en 2005, la proportion des tiges des espèces commerciales est de 50,3 % pour le bouleau jaune, 42,2 % pour l'érable à sucre et 7,4 % pour les autres espèces commerciales.



ERS : érable à sucre, BOJ : bouleau jaune, ACO : autres espèces commerciales.

Figure 2. Nombre moyen de tiges des espèces commerciales selon le diamètre relatif à la hauteur dominante (H) des trouées et la période de mesure (année).

Tableau 2. Analyse de la variance sur le nombre de tiges à l'hectare des espèces commerciales pour les périodes deux et cinq ans après la coupe

Source de variation	DLn	Classe de hauteur (cm)									
		Total		0-20		21-50		51-100		101 +	
		DLd	Pr > F	DLd	Pr > F	DLd	Pr > F	DLd	Pr > F	DLd	Pr > F
Diamètre (D)	2	26,9	0,377	28,3	0,143	23,0	0,679	29,7	0,377	18	0,205
Espèce (E)	2	26,6	<0,001	27,5	0,011	23,0	0,004	30,2	<0,001	18	<0,001
Période (P)	1	23,6	0,725	26,9	0,719	19,4	0,083	40,5	<0,001	–	–
D x E	4	26,7	0,715	27,8	0,831	23,4	0,856	29,7	0,959	18	0,611
D x P	2	24,4	0,371	28,4	0,874	20,3	0,218	37,6	0,463	–	–
E x P	2	20,9	0,043	23,0	0,082	19,7	0,867	33,2	0,001	–	–
D x E x P	4	21,7	0,532	24,5	0,754	20,2	0,440	33,7	0,963	–	–

DLn = degrés de liberté du numérateur

DLd = degrés de liberté du dénominateur selon l'approximation de Satterthwaite

Structure de variances-covariances choisie = Symétrie composée (*Compound Symmetry*) pour la classe de hauteur 51-100 cm, Non structurée (Unstructured) pour toutes les autres analyses**Tableau 3. Moyennes ajustées du nombre moyen de tiges à l'hectare pour les espèces commerciales selon la classe de hauteur et la période de mesure**

Classe de hauteur	Période	Espèce		
		Bouleau jaune	Érable à sucre	Autres
Toutes	2003	66 847 ± 8 961a	8 2447 ± 9 828a	4 085 ± 2 220b
	2005	60 550 ± 11 378a	50 782 ± 10 203ab	8 930 ± 5 401b
	<i>Différence *</i>	NS	S	NS
0-20 cm	-	2 8708 ± 5 798a	20 546 ± 5 020a	2 739 ± 1 912b
21-50 cm	-	2 0427 ± 3 051a	27 166 ± 3 456a	1 034 ± 944b
51-100 cm	2003	394 ± 354a	8 454 ± 1 451b	560 ± 384a
	2005	17 283 ± 2 224a	9 672 ± 1 669a	845 ± 490b
	<i>Différence *</i>	S	NS	NS
101 + cm	2005	1 968 ± 386a	7 357 ± 758b	191 ± 127c

Horizontalement, les moyennes suivies de lettres distinctes présentent des différences significatives au seuil 5 % (différences significatives entre les espèces).

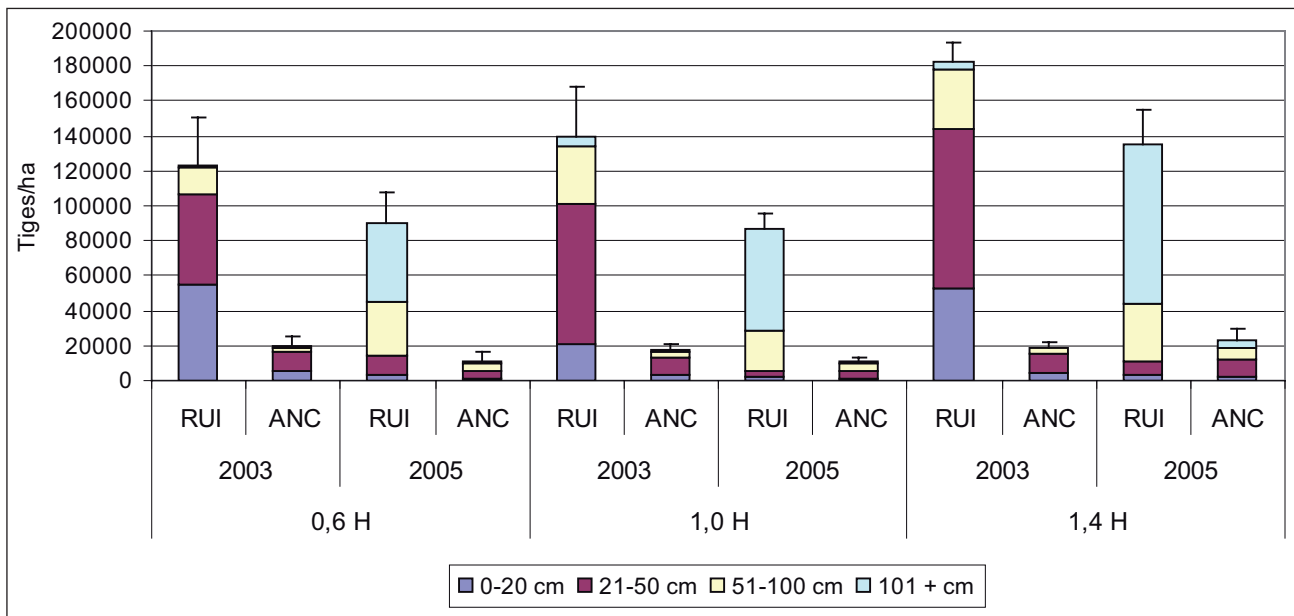
Verticalement, lorsque la période est spécifiée, les lettres S et NS indiquent si la différence entre les périodes est significative (S) ou non (NS) au seuil 5 % pour une même espèce. Lorsque la période n'est pas spécifiée, les moyennes présentées correspondent aux deux périodes combinées puisque l'interaction entre les périodes et les espèces n'était pas significative au seuil 5 %.

Lorsque les résultats sont examinés par classe de hauteur et par période de mesure, aucune différence temporelle statistiquement significative du nombre de tiges n'est observée pour les classes inférieures à 50 cm de hauteur (Tableau 3). Les résultats de ces classes indiquent que le nombre de tiges d'érable à sucre et de bouleau jaune n'est pas différent, mais que le nombre de tiges de ces deux espèces est plus élevé que celui des autres espèces commerciales. Les proportions selon les espèces pour ces classes de hauteur sont semblables à celles obtenues pour l'ensemble des classes de hauteur réunies. Les résultats obtenus pour la classe 51-100 cm, montrent une augmentation significative du bouleau jaune dans le temps et une légère augmentation, mais statistiquement non significative, des autres espèces commerciales alors que le nombre de tiges d'érable à sucre est demeuré semblable. La différence la plus importante pour cette classe est celle du nombre de tiges de bouleau jaune puisqu'il ne représentait que 4 % des tiges en 2003 alors qu'il atteint 62,2 % en 2005. Finalement, comme nous l'avons mentionné dans la section 1.4.1, il n'a pas été possible d'effectuer des tests sur la période de mesure pour la classe 101 cm et plus, puisque le nombre de tiges en 2003 était trop faible. L'analyse de l'année 2005 nous permet cependant de conclure que le nombre de tiges d'érable à sucre est significativement plus élevé que celui du bouleau jaune, lequel

est lui-même significativement supérieur à celui des autres espèces commerciales. Ainsi, l'érable à sucre domine avec 77,3 % des tiges alors que le bouleau jaune et les autres espèces commerciales représentent respectivement 20,7 et 2 % des tiges de cette classe.

2.1.2 Espèces non commerciales

Le nombre moyen de tiges à l'hectare ($\pm$ une erreur-type) des espèces non commerciales selon la classe de hauteur, le diamètre de la trouée et la période de temps est présenté à la figure 3 alors que les résultats des analyses de la variance figurent au tableau 4. Les résultats indiquent que le diamètre de la trouée n'a pas d'effet significatif sur le nombre de tiges à l'hectare. Ces résultats révèlent cependant des différences statistiquement significatives pour l'espèce, la période ou l'interaction entre l'espèce et la période, selon la classe de hauteur analysée. Le tableau 5 présente les moyennes ajustées (*lsmeans*, $\pm$ une erreur-type) par espèce selon la période et la classe de hauteur. Les résultats obtenus montrent que le nombre total de tiges de framboisier est significativement plus élevé que le nombre total des autres espèces non commerciales mais qu'aucune différence statistiquement significative par rapport à la période n'est observée. Le framboisier représente ainsi 88,2 % de l'ensemble des tiges des espèces non commerciales.



RUI : framboisier, ANC : autres espèces non commerciales

Figure 3. Nombre moyen de tiges des espèces non commerciales selon le diamètre relatif à la hauteur dominante (H) des trouées et la période de mesure (année).

Tableau 4. Analyse de la variance sur le nombre de tiges à l'hectare des espèces non commerciales pour les périodes deux et cinq ans après la coupe

Source de variation	DLn	Total		Classe de hauteur (cm)							
				0-20		21-50		51-100		101 +	
				DLd	Pr > F	DLd	Pr > F	DLd	Pr > F	DLd	Pr > F
Diamètre (D)	2	12,9	0,315	16,2	0,419	14,9	0,258	12,4	0,285	11,2	0,199
Espèce (E)	1	12,9	<0,001	16,2	0,003	14,8	<0,001	12,5	<0,001	11,1	<0,001
Période (P)	1	11,0	0,065	15,5	<0,001	14,8	<0,001	13,1	0,299	10,3	<0,001
D x E	2	12,9	0,954	16,2	0,697	14,9	0,918	12,4	0,993	11,2	0,541
D x P	2	11,0	0,529	15,4	0,856	14,9	0,410	13,1	0,496	10,3	0,727
E x P	1	11,0	0,593	15,5	0,003	14,8	0,004	13,1	0,338	10,3	0,069
D x E x P	2	11,0	0,574	15,4	0,424	14,9	0,392	13,1	0,567	10,3	0,746

DLn = degrés de liberté du numérateur

DLd = degrés de liberté du dénominateur selon l'approximation de Satterthwaite

Structure de variances-covariances choisie = Non structurée (*Unstructured*) pour toutes les analyses**Tableau 5. Moyennes ajustées du nombre de tiges à l'hectare des espèces non commerciales selon la classe de hauteur et la période de mesure**

Classe de hauteur	Période	Espèce		
		Framboisier	Autres	Framboisier et autres
Toutes	-	125 780 ± 8 522a	16 800 ± 3 118b	-
0-20 cm	2003	39 150 ± 5 593a	4 566 ± 1 831b	-
	2005	2 734 ± 783a	1 696 ± 601a	-
	<i>Différence *</i>	S	NS	
21-50 cm	2003	71 997 ± 7 370a	10 516 ± 2 774b	-
	2005	7 185 ± 1 731a	5 219 ± 1 478a	-
	<i>Différence *</i>	S	NS	
51-100 cm	-	26 421 ± 1 858a	3 640 ± 640b	-
101 + cm	2003			1 124 ± 343
	2005			11 018 ± 2 169
	<i>Différence *</i>	-	-	S
	-	14 514 ± 1 692a	853 ± 321b	

Horizontalement, les moyennes suivies de lettres distinctes présentent des différences significatives au seuil 5 % (différences significatives entre les espèces).

Verticalement, lorsque la période est spécifiée, les lettres S et NS indiquent si la différence entre les périodes est significative (S) ou non (NS) au seuil 5 % pour une même espèce. Lorsque la période n'est pas spécifiée, les moyennes présentées correspondent aux deux périodes combinées puisque l'interaction entre les périodes et les espèces n'était pas significative au seuil 5 %.

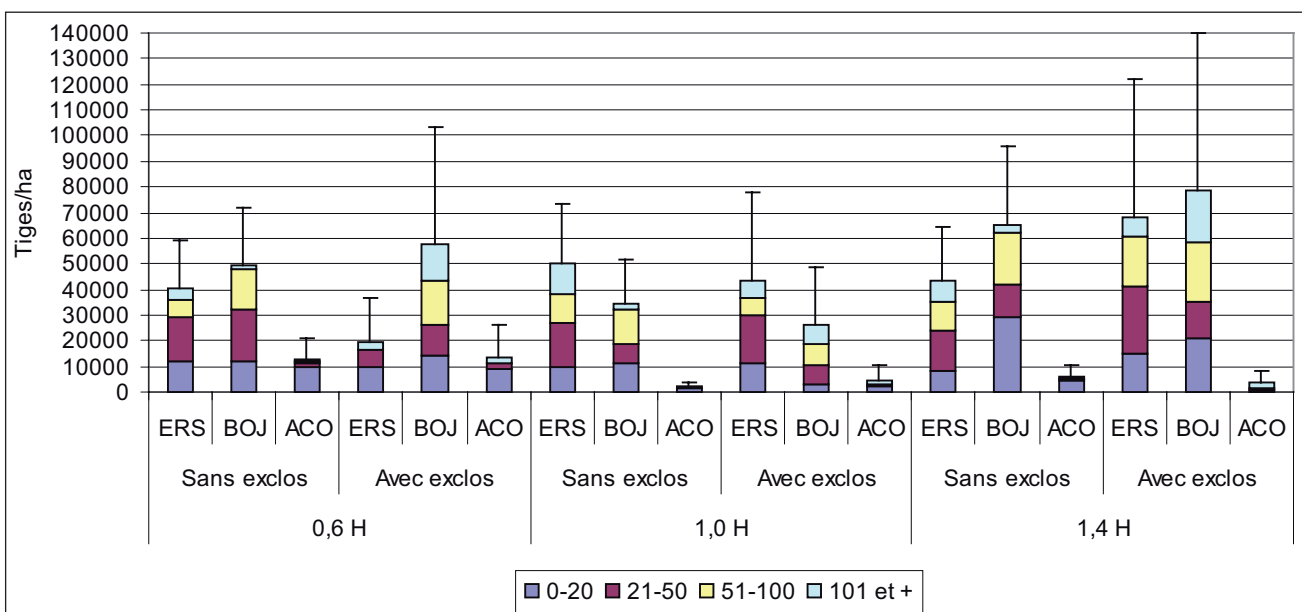
Les résultats obtenus par classe de hauteur révèlent une diminution significative du nombre de tiges de framboisier de 2003 à 2005 dans les classes de hauteur inférieures à 50 cm alors que les autres espèces non commerciales ne présentent pas de différence temporelle pour ces mêmes classes (Tableau 5). La proportion du nombre de tiges de framboisier de ces classes a diminué d'environ 30 % de 2003 à 2005 pour se situer autour de 60 % du nombre de tiges des espèces non commerciales en 2005. Aucune différence temporelle significative n'a été détectée pour la classe 51-100 cm, toutefois les résultats montrent que le nombre de tiges de framboisier est nettement plus élevé que celui des autres espèces non commerciales avec 87,9 % des tiges de cette classe de hauteur. Finalement, une augmentation significative du nombre de tiges de toutes les espèces non commerciales regroupées est observée pour la classe 101 cm et plus. Pour la même classe de hauteur, une nette domination du framboisier avec en moyenne 94,5 % des tiges, est observée pour les deux années combinées.

2.2 Effets des exclos sur le nombre de tiges des espèces commerciales

La figure 4 présente le nombre moyen de tiges à l'hectare ($\pm$ une erreur-type) par classe de hauteur des espèces commerciales selon le diamètre de la trouée et avec ou sans exclos, cinq ans après

la création des trouées. Les analyses statistiques de chacune des classes de diamètre ont été effectuées, mais les résultats présentés sont ceux de la classe de hauteur 101 cm et plus puisqu'aucune différence significative n'a été observée pour les autres classes en ce qui concerne les exclos, que ce soit comme effet simple ou en interaction avec un autre facteur du modèle.

Les résultats des analyses de la variance, présentés au tableau 6, permettent de conclure que l'interaction entre les exclos et le groupe d'espèces est significative. Les moyennes ajustées (*lsmeans*, $\pm$ une erreur-type) selon l'espèce et la présence ou non d'un exclos sont présentées au tableau 7. Ces résultats indiquent que la présence d'exclos favorise le nombre de tiges de bouleau jaune et des autres espèces commerciales. Toutefois, aucune différence significative du nombre de tiges n'est observée en présence ou non d'exclos dans le cas de l'érable à sucre. Le nombre de tiges de bouleau jaune obtenu dans les trouées avec exclos, est supérieur à celui de l'érable à sucre et des autres espèces commerciales. Le bouleau jaune compte pour 64,6 % des tiges des espèces commerciales, l'érable à sucre compte pour 26 %, et les autres espèces commerciales pour 9,4 % de tiges des espèces commerciales. Dans les trouées sans exclos, l'érable à sucre compte le plus grand nombre de tiges soit 77,3 % des tiges, suivi du



ERS : érable à sucre, BOJ : bouleau jaune, ACO : autres espèces commerciales.

Figure 4. Moyennes ajustées du nombre de tiges à l'hectare des espèces commerciales avec et sans exclos en 2005 selon le diamètre relatif à la hauteur dominante (H) des trouées.

Tableau 6. Analyse de la variance sur le nombre de tiges à l'hectare des espèces commerciales de la classe de hauteur de 101 cm et plus, dans les trouées clôturées ou non, 5 ans après la coupe

Source de variation	DLn	DLd	Pr > F
Diamètre (D)	2	18	0,095
Exclos (Ex)	1	18	<0,001
Espèce (E)	2	18	<0,001
D x Ex	2	18	0,727
D x E	4	18	0,263
Ex x E	2	18	<0,001
D x Ex x E	4	18	0,668

DLn = degrés de liberté du numérateur

DLd = degrés de liberté du dénominateur selon l'approximation de Satterthwait

Tableau 7. Moyennes ajustées du nombre de tiges à l'hectare des espèces commerciales de la classe de hauteur de 101 cm et plus, dans les trouées avec ou sans exclos, pour l'année 2005

Traitement	Bouleau jaune	Érable à sucre	Autres
Avec exclos	12 806 ± 1 713a	5 161 ± 1 086b	1 858 ± 626b
Sans exclos	1 968 ± 386a	7 357 ± 758b	191 ± 127c
<i>Différence</i>	<i>S</i>	<i>NS</i>	<i>S</i>

Horizontalement, les moyennes suivies de lettres distinctes présentent des différences significatives au seuil 5 % (différences significatives entre les espèces).

Verticalement, les lettres S et NS indiquent si la différence entre les périodes est significative (S) ou non (NS) au seuil 5 % pour une même espèce.

bouleau jaune avec 20,7 % et des autres espèces commerciales avec 2 %. Dans l'ensemble, si l'on exclut la présence du cerf de Virginie, le nombre de tiges de bouleau jaune est non seulement plus élevé pour la classe de hauteur de 101 cm et plus mais ce nombre surpasse celui de l'érable à sucre et des autres espèces commerciales.

2.3 Effets des lits de germination sur le nombre de tiges

Les modèles retenus pour les trois principales espèces de cette étude sont présentés au tableau 8. Puisque le modèle de Poisson utilise une fonction de lien logarithmique, les estimés des paramètres représentent le changement espéré dans l'échelle logarithmique. Afin de faciliter l'interprétation des résultats, la valeur $100(e^{\hat{\beta}} - 1)$ a été calculée pour chacun des types de lits de germination retenus (voir au bas du tableau 8). Cette valeur représente l'effet d'une augmentation de 1 % de recouvrement du type de lit de germination prise en compte sur le pourcentage du nombre de tiges attendu.

Les résultats obtenus pour le bouleau jaune indiquent que la litière perturbée ainsi que le sol minéral ont une incidence positive sur le nombre de tiges. Ainsi, une augmentation de 1 % de la litière perturbée ou du sol minéral, toute autre chose étant égale, entraîne une augmen-

tation du nombre de tiges d'environ 2 %. Les estimés obtenus de ces deux types de lits de germination ne sont d'ailleurs pas considérés différents de façon significative ($p = 0,9793$). La litière et la litière perturbée ont un effet positif sur le nombre de tiges observées dans le cas de l'érable à sucre. Une augmentation de la litière de 1 %, toute autre chose étant égale, entraîne une augmentation du nombre de tiges de près de 2 % de cette espèce, alors qu'une même augmentation de litière perturbée, provoque une augmentation inférieure à 1 % du nombre de tiges. Ainsi, la litière semble avoir un effet plus important que la litière perturbée sur l'érable à sucre, les estimés obtenus pour ces deux types de lits de germination sont significativement différents ($p = 0,0032$). Dans le cas du framboisier, seule la litière perturbée semble avoir un effet significatif sur le nombre de tiges. Ainsi, une augmentation de 1 % de la litière perturbée entraîne une augmentation de 0,8 % du nombre de tiges.

Finalement, la corrélation entre les valeurs observées et celles prédites (selon l'échelle d'origine), est de 12,2 % pour le bouleau jaune, 24,4 % pour l'érable à sucre et 15,8 % pour le framboisier. Ces coefficients indiquent que les lits de germination n'expliquent que partiellement la densité de tiges observée dans les trouées.

Tableau 8. Modèle final de régression linéaire obtenu pour chacune des trois espèces concernant l'effet des lits de germination sur le nombre de tiges observé en 2003

Espèce	Modèle	Pseudo – R ²	n
Bouleau jaune	$nb \text{ de semis} / ha = e^{9,8764 + 0,01623 \cdot litière_perturbée + 0,02187 \cdot sol_minéral}$	12,2 %	108
Érable à sucre	$nb \text{ de semis} / ha = e^{10,5444 + 0,01719 \cdot litière + 0,009628 \cdot litière_perturbée}$	24,4 %	108
Framboisier	$nb \text{ de semis} / ha = e^{11,6405 + 0,008396 \cdot litière_perturbée}$	15,8 %	108

Bouleau jaune : pour la litière perturbée, $100(e^{0,01623} - 1) = 1,64$ % et pour le sol minéral, $100(e^{0,02187} - 1) = 2,21$ %

Érable à sucre : pour la litière, $100(e^{0,01719} - 1) = 1,73$ % et pour la litière perturbée, $100(e^{0,009628} - 1) = 0,97$ %

Framboisier : pour la litière perturbée, $100(e^{0,008396} - 1) = 0,84$ %

Chapitre trois

Discussion

3.1 Effets de la dimension des trouées sur la composition et la densité de la régénération

Le principal objectif de cette étude était de vérifier si la dimension de la trouée avait un effet sur la densité et la composition de la régénération. On aurait pu s'attendre à une augmentation de la densité des espèces moins tolérantes et de compétition avec l'augmentation de la dimension de la trouée en raison de l'augmentation de la lumière disponible. Toutefois, les résultats obtenus n'ont pas permis de détecter de différences statistiquement significatives de la densité des tiges selon l'espèce en fonction de la dimension des trouées autant pour les espèces commerciales que pour les espèces non commerciales. La très faible proportion des espèces de lumière obtenue dans la présente étude est probablement liée à l'absence de semenciers de ces espèces. Elle peut également être liée à l'absence de semences enfouies dans le sol pour certaines espèces fréquemment observées après perturbations majeures dans les érablières (ex. : cerisier de Pennsylvanie).

SHIELDS *et al.* (2007) n'ont également pas obtenu d'augmentation des espèces semi-tolérantes avec l'augmentation de la dimension des trouées dans un dispositif composé de trouées de dimensions variant de 267 à 1 192 m² dans une érablière à bouleau jaune et pruche située au Michigan. Toutefois, McCLURE et LEE (1993), ont obtenu des résultats similaires concernant la densité relative de l'érable à sucre, du bouleau jaune et de l'érable rouge dans des trouées variant de 324 à 2 428 m² et ce, 24, 34 et 44 ans après la coupe d'une érablière à bouleau jaune et hêtre au New Hampshire. Cependant, le bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.) et le cerisier de Pennsylvanie étaient relativement plus abondants dans les plus grandes trouées (> 1 000 m²) tandis que le hêtre à grandes feuillues et la pruche étaient relativement plus abondants dans les petites trouées (< 1 000 m²) et leur abondance diminuait progressivement à mesure que la dimension des trouées augmentait.

Si l'on compare les résultats de la présente étude à ceux obtenus des études citées précédemment, on constate que la densité relative du bouleau jaune de ces dernières études est nettement inférieure. En effet, la densité relative de cette espèce est d'environ 15 % dans l'étude de McCLURE et LEE

(1983) alors quelle n'est que de 5,9 % pour les semis (hauteur < 50 cm) et de 1,1 % pour les gaulis (hauteur ≥ 50 cm) dans l'étude de SHIELDS *et al.* (2007). La densité relative du bouleau jaune après cinq ans atteint, dans la présente étude, environ 50 % des espèces commerciales et environ 40 % de l'ensemble des espèces (sans le framboisier). Cette différence est probablement attribuable à l'absence de travaux de scarification du sol dans les deux études américaines. Ces résultats semblent confirmer que la création de trouées, à elle seule, n'est pas suffisante pour favoriser l'établissement du bouleau jaune. Cette dernière espèce nécessite la création de lits de germination adéquats (GODMAN et KREFTING 1960, BURTON *et al.* 1969, CASPERSEN et SAPRUNOFF 2005).

Les résultats obtenus dans cette étude permettent de conclure qu'il est possible d'obtenir une régénération abondante d'espèces commerciales comme le bouleau jaune et l'érable à sucre dans les trouées scarifiées. Il n'existe cependant pas encore, à notre connaissance, d'indicateurs permettant de déterminer la densité suffisante de tiges en régénération dans les trouées. Par contre, certains auteurs (JACOBS 1974, LEAK *et al.* 1987, NYLAND 2002) suggèrent un minimum de 12 350 tiges en espèces désirées à l'hectare (5000 tiges à l'acre) bien réparties et hors compétition dans la classe de 60 à 120 cm de hauteur avant d'entreprendre la coupe finale d'une coupe progressive. De plus, LEAK *et al.* (1987) recommandent un coefficient de distribution minimal correspondant à 60 % de tiges d'une hauteur de 1 m et plus dans des placettes de 4 m², ce qui correspond à 1 500 tiges à l'hectare. Selon ces standards, la densité de tiges obtenue dans cette étude serait amplement suffisante pour assurer le plein boisement en espèces désirées.

3.2 Effet du broutement exercé par le cerf de Virginie

Si l'on examine les résultats de cinq ans obtenus par classe de hauteur, on remarque que le bouleau jaune se trouve dans une proportion semblable à l'érable à sucre jusqu'à une hauteur de 100 cm. Toutefois, le nombre de tiges de bouleau jaune pour la classe de hauteur de 101 cm et plus, compte un peu moins de 21 % du nombre total des tiges des espèces commerciales. Les résultats obtenus en

rapport avec la présence ou non d'exclos montrent toutefois que le broutement par le cerf de Virginie pourrait expliquer cette faible proportion de bouleau jaune. Selon ces résultats, le nombre de bouleau jaune, dans les trouées clôturées s'élève à plus de 12 000 tiges à l'hectare, ce qui représente une proportion de 60 % des tiges d'espèces commerciales. Il apparaît donc qu'en l'absence de brout de la part du cerf de Virginie, le bouleau jaune peut occuper une proportion élevée des tiges des espèces commerciales dans la classe de hauteur dominante.

Le cerf de Virginie peut entraver sérieusement le développement de la régénération des forêts de feuillus du nord-est de l'Amérique du Nord (HOUGH 1965, MARQUIS 1981). Le bouleau jaune est reconnu comme une des espèces de feuillus favorites du cerf de Virginie (TIERSON *et al.* 1966, ERDMANN 1990, ROONEY *et al.* 2003). Il semble également que la régénération obtenue par la création de petites ouvertures dans une matrice de forêt dense serait plus vulnérable au dommage causé par le broutement que dans une coupe exécutée sur une surface plus importante (CURTIS et RUSHMORE 1958). Les facteurs d'évaluation de l'effet du cerf de Virginie les plus souvent mentionnés sont la densité de sa population et la composition de la végétation (RUSSEL *et al.* 2001). D'ailleurs, HANNAH (1988) et NYLAND (2002), recommandent de viser la densité de régénération la plus élevée possible, tout en évitant une composition monospécifique, et de maintenir les populations de cerfs de Virginie à moins de 8,0 cerfs/km² afin de limiter les effets négatifs du broutement. Il n'existe pas d'étude permettant d'estimer précisément la population locale de cerfs de Virginie à la forêt Mousseau. Toutefois, à l'échelle régionale (zone de chasse 11), la population de cerf en 2000 et en 2004 était évaluée à 3,1 cerf/km² (HUOT 2006) ce qui est en deçà du seuil critique proposé. Cependant, il est fort probable que la densité de cerf de Virginie sur le territoire de la forêt Mousseau soit plus élevée compte tenu de la présence d'aires d'hivernage à proximité (M. HÉNAULT, communication personnelle).

3.3 Effets du framboisier sur la régénération

Le framboisier est l'espèce concurrente la plus importante dans cette étude. Il a été fréquemment observé que cette espèce prédomine les sites après le prélèvement du couvert principal dans les peuplements feuillus du nord-est de l'Amérique du Nord soumis à des coupes totales (KELTY et NYLAND 1981, WALTERS et NYLAND 1989). Toutefois, il existe

peu de résultats permettant de quantifier l'importance du framboisier dans les trouées selon des conditions comparables à celles observées dans cette étude. Les résultats que nous avons obtenus ne permettent pas de déceler de différences significatives concernant la densité du framboisier en fonction de la dimension de la trouée. Toutefois, SHIELDS et WEBSTER (2007) ont observé une augmentation du framboisier avec l'accroissement de la dimension des trouées deux ans après la création de trouées circulaires de dimensions comparables à celles expérimentées dans la présente étude (321 à 1 256 m²). Cette différence peut s'expliquer par des conditions initiales différentes de celles observées dans notre étude. En effet, comme nous l'avons mentionné précédemment, dans l'étude de SHIELDS et WEBSTER (2007), aucune préparation de terrain n'a été exécutée après la création des trouées. Toutefois, la perturbation accidentelle de la surface du sol induite par la récolte et le débardage des tiges était plus élevée dans les grandes trouées. Ainsi, l'augmentation de la proportion de sol perturbé dans les plus grandes trouées a probablement créé davantage de microsites propices à l'établissement du framboisier alors que dans notre étude, toutes les trouées ont reçu une perturbation du sol similaire.

Néanmoins, malgré l'abondance des tiges de framboisier obtenue dans cette étude, le nombre de tiges des espèces commerciales est tout de même très élevé. Il semble donc que le framboisier n'entrave pas de façon significative la régénération de ces espèces commerciales. Cependant, il est possible que le framboisier nuise à leur croissance mais cet effet négatif ne pourrait qu'être temporaire (DONOSO et NYLAND 2006). Selon ces auteurs, le framboisier colonise les sites au cours des trois ans suivant la coupe du couvert principal. Par contre, la croissance rapide des feuillus nobles leur permet tout de même de croître parmi les framboisiers durant les 5 à 7 premières années. Par la suite, 10-15 ans après la coupe, les feuillus nobles dominent généralement et forment un couvert fermé, ce qui provoque la diminution rapide du framboisier en raison de la réduction de la lumière disponible au niveau de la strate arbustive.

3.4 Effets des lits de germination sur la régénération

Les résultats de l'analyse de l'effet des lits de germination confirment que la perturbation de la surface du sol a un effet positif sur la régénération du bouleau jaune. Ces résultats concordent avec

les études antérieures lesquelles ont démontré que la germination et la survie du bouleau jaune sont supérieures sur le sol minéral par rapport à celles sur la litière (LINTEAU 1948, GODMAN et KREFTING 1960, MARQUIS 1965). Le meilleur lit de germination pour le bouleau jaune serait un mélange d'humus et de sol minéral puisque ce type de lit de germination maintiendrait des conditions d'humidité adéquates et propices à la germination et à la croissance des semis de bouleau jaune (GODMAN et KREFTING 1960). Ces conditions seraient obtenues par le mélange de l'humus avec l'horizon A sans toutefois perturber l'horizon B (GODMAN et ERDMANN 1985). Des conditions semblables ont été créées pour la catégorie litière perturbée dans cette étude, ce qui a permis d'exposer l'humus avec un certain mélange de sol minéral. Toutefois, les résultats obtenus ne permettent pas de conclure que la litière perturbée serait plus favorable que le sol minéral pour l'établissement des semis puisqu'aucune différence significative n'a été détectée entre les estimés des paramètres associés à la litière perturbée et au sol minéral.

La préparation de terrain aurait eu plusieurs effets bénéfiques sur l'établissement du bouleau jaune. Elle aurait permis d'enlever la litière de feuilles d'érable à sucre laquelle entravait la germination des graines de bouleau jaune. En effet, l'épaisse litière de feuilles d'érable crée une barrière physique qui empêche la radicule de la semence d'atteindre le sol minéral et de survivre (LINTEAU 1948, GODMAN et KREFTING 1960, BURTON *et al.* 1969). D'autre part, l'exposition du sol minéral permettrait également de créer des conditions favorables à la germination des graines de bouleau jaune. Selon MARQUIS *et al.* (1964), le sol minéral aurait une teneur en humidité plus élevée à sa surface que la litière de feuilles et l'humus. Ce dernier facteur serait important puisque la disponibilité en eau du sol serait un élément critique pour la germination et la survie du bouleau jaune (BURTON *et al.* 1969, MARQUIS 1966, 1969). L'exposition du sol minéral permettrait également de déplacer la banque de semences enfouies (p. ex. : framboisier), détruirait la régénération préétablie et créerait un microsite favorable à l'installation du bouleau jaune.

Les résultats obtenus pour l'érable à sucre indiquent que la litière est la variable la plus fortement corrélée au nombre de tiges observé. Il est probable que ces résultats s'expliquent principalement par l'abondance de la régénération préétablie. Néanmoins, il est connu que l'érable à sucre se régénère bien

sur litière. MCGEE et BIRMINGHAM (1997) ainsi que WEBB (1988) ont trouvé que la densité de tiges d'érable à sucre était plus élevée sur la litière de feuilles que sur les troncs, les souches et le sol minéral. Le succès de la régénération de l'érable à sucre sur la litière peut s'expliquer par la capacité de la semence de produire une radicule capable de percer la litière de feuilles et d'atteindre le sol minéral et ainsi permettre au semis de se développer (GODMAN *et al.* 1990). Toutefois, nos résultats montrent que la litière perturbée serait également favorable, dans une moindre mesure, à la régénération de l'érable à sucre. Dans ce cas, il est possible que les semis sur ce type de lit de germination se soient établis après la préparation de terrain. En effet, la préparation de terrain a probablement détruit une bonne partie de la régénération préétablie en plus de déplacer les semences déjà au sol. Ainsi, la différence entre les deux types de lits de germination pourrait être liée à la présence ou non de régénération préétablie d'érable à sucre.

Les résultats à propos du framboisier indiquent que la litière perturbée serait favorable à son établissement. Ces résultats concordent avec ceux obtenus par ROBERTS et DONG (1993) qui ont observé une densité 2,5 fois plus élevée de framboisiers dans les placettes où la matière organique avait été enlevée après une coupe totale comparativement aux placettes où la couche d'humus était demeurée intacte. GODMAN et TUBBS (1973) ont également observé que le framboisier couvrait une proportion plus élevée sur les superficies exploitées en été comparativement à celles exploitées en hiver sur lesquelles le sol avait été protégé par la couverture de neige. L'abondance du framboisier s'expliquerait par l'exposition des semences enfouies à des conditions favorables à leur germination après la perturbation de la surface du sol. Il est bien connu que le framboisier produit une grande quantité de semences qui peuvent demeurer viables plusieurs dizaines d'années dans le sol (JOBIDON 1995). Ainsi, la perturbation de la litière combinée à l'ouverture du couvert provoquerait la mise en disponibilité des éléments nutritifs comme l'azote sous forme de nitrate (NO_3) par le réchauffement de la surface du sol. Ces conditions favoriseraient à la germination et la croissance du framboisier (DONOSO et NYLAND 2006).

Conclusion

Les résultats de notre étude montrent qu'une régénération abondante de bouleau jaune et d'érable à sucre peut être obtenue dans des trouées circulaires scarifiées de 0,6 à 1,4 H de diamètre créées lors d'une bonne année semencière. La densité de framboisier est très élevée, peu importe la dimension de la trouée, mais celle-ci ne semble pas avoir d'effet négatif significatif sur le développement de la régénération. D'autre part, les résultats démontrent que malgré l'abondance de la régénération que l'on peut obtenir, le développement du bouleau jaune peut être altéré par le broutement du cerf de Virginie. Ainsi, l'objectif d'augmenter la proportion de bouleau jaune par la création de trouées dans une érablière peut être compromis en présence du cerf de Virginie. Néanmoins, nos résultats montrent que lorsque les trouées sont protégées du broutement, elles permettent d'obtenir une proportion élevée de bouleau jaune dans la classe de hauteur dominante (101 cm et plus) après cinq ans. Les mesures à plus long terme devraient cependant permettre de mieux évaluer l'effet réel du broutement sur la croissance des tiges de bouleau jaune et sur la composition à venir des trouées.

Les résultats montrent également que le scarifiage de type opérationnel exécuté à même les opérations de récolte crée, dans une proportion moyenne de plus de 50 % de la surface du sol, des lits de germinations favorables à la régénération du bouleau jaune. Selon ces résultats, cette proportion assurerait le mélange d'érable à sucre et de bouleau jaune. Il serait toutefois intéressant de

vérifier si l'augmentation de la surface scarifiée permettrait d'augmenter la proportion bouleau jaune. Néanmoins, il serait souhaitable de maintenir le mélange d'espèces afin de limiter le broutement du bouleau jaune. Le type de scarifiage utilisé a comme avantage d'être beaucoup moins coûteux que celui généralement prescrit dans les opérations pour lesquelles une excavatrice est utilisée après la récolte (CORMIER 2001). Cependant, dans certaines conditions particulières comme celles d'un terrain de rugosité élevée, il est possible que cette méthode de préparation de terrain soit difficilement utilisable. Dans ces conditions, l'utilisation d'une excavatrice permettant un scarifiage par plateau sera probablement inévitable (CORMIER 2001).

Il faut être prudent si l'on souhaite extrapoler les résultats de cette étude à d'autres érablières à bouleau jaune. Cette étude ne couvre évidemment pas l'ensemble des conditions de station, d'exposition et de climat que l'on peut retrouver dans le domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune. De plus, selon l'historique des perturbations du site, l'abondance des semenciers dans le peuplement, l'année semencière et le niveau de population de cerf de Virginie, il est possible que la dynamique de la régénération dans les trouées soit différente de celle observée dans cette étude. Il serait donc souhaitable de répliquer ce type d'étude dans différents peuplements à une échelle régionale.

Références bibliographiques

- BLUM, B.M. et S.M. FILIP, 1963. *A demonstration of four intensities of management in northern hardwoods*. USDA, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station Upper Darby, PA. Res. Pap. NE-4. 16 p.
- BURTON, D.H., H.W. ANDERSON et L.F. RILEY, 1969. *Natural regeneration of yellow birch in Canada*. Dans : Larson, E. vH. Proc. Birch Symp., 19-21 Août 1969, Durham, NH. USDA, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Upper Darby, PA. p. 55-73.
- CASPERSEN, J.P. et M. SAPRUNOFF, 2005. *Seedling recruitment in a northern temperate forest: the relative importance of supply and establishment limitation*. Can. J. For. Res. 35 : 978-989.
- CORMIER, D., 2001. *Préparation de terrain en coupe par trouées pour favoriser l'établissement du bouleau jaune*. Avantage 2(30) : 4.
- CROW, T.R. et F.T. METZGER, 1987. *Regeneration under selection cutting*. Dans : Nyland, R.D. (ed.). *Proc. Managing Northern Hardwoods*. N.Y. State Univ. Coll., Environ. Sci. For. Syracuse. Tech. Publ. 13 : 81-94.
- CURTIS, R.O. et F.M. RUSHMORE, 1958. *Some effects of stand density and deer browsing on reproduction in an Adirondack hardwood stand*. J. For. 56 : 116-121.
- DONOSO, P.J. et R.D. NYLAND, 2006. *Interference to Hardwood Regeneration in Northeastern North America: The Effects of Raspberries (Rubus spp.) Following Clearcutting and Shelterwood Methods*. North. J. Appl. For. 23(4) : 288-296.
- ERDMANN, G.G., 1990. *Betula alleghaniensis Britton Yellow Birch*. Dans : Burns, R.M. et B.H. Honkala (ed.). *Silvics of North America*. USDA, Forest Service, Washington, D.C. p.133-147.
- EYRE, F.H. et W.M. ZILLGITT, 1953. *Partial cutting in northern hardwoods of the lake states*. USDA, Forest Service, Lake States Forest Experiment Station. Technical Bulletin 1076 : 123.
- GODMAN, R.M. et G.G. ERDMANN, 1985. *Regenerating yellow birch in the Lake States*. Dans : Hutchinson, J.G., *Northern Hardwood Notes*. USDA, Forest Service, North Central Forest Experiment Station. (document non paginé)
- GODMAN, R.M. et L.W. KREFTING, 1960. *Factors important to yellow birch establishment in upper Michigan*. Ecology 41(1) : 18-28.
- GODMAN, R.M. et C.H. TUBBS, 1973. *Establishing even-age northern hardwood regeneration by the shelterwood method - a preliminary guide*. USDA, Forest Service, North Central Forest Experiment Station. Research Paper NC-99. 9 p.
- GODMAN, R.M., H.W. YAWNEY et C.H. TUBBS, 1990. *Acer Saccharum Marsh Sugar Maple*. Dans : Burns, R.M. et B.H. Honkala. *Silvics of North America*. USDA, Forest Service, Washington, DC. p. 78-91.
- GOSSELIN, J., 2002. *Guide de reconnaissance des types écologiques des régions 3a-Collines de l'Outaouais et du Témiscamingue et 3b-Collines du lac Nominique*. Gouv. du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune. Direction des inventaires forestiers. (document non paginé)
- HANNAH, P.R., 1988. *The shelterwood method in northeastern forest types: a literature review*. North. J. Appl. For. 5(1) : 70-77.
- HATCHER, R.H., 1966. *Yellow birch regeneration on scarified seedbeds under small canopy openings*. Forestry Chronicle 42 : 350-358.
- HOUGH, A.F., 1965. *A twenty-year record of understory vegetational change in a virgin Pennsylvania forest*. Ecology 46 : 370-373.
- HUOT, M., 2006. *Plan de gestion du cerf de Virginie, 2002-2008. Bilan de la mi-plan*. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction du développement de la Faune, Québec. 50 p.
- JACOBS, R.D., 1974. *Damage to northern hardwood reproduction during removal of shelterwood overstory*. Journal of Forestry 72(10) : 654-656.
- JOBIDON, R., 1995. *Autécologie de quelques espèces de compétition d'importance pour la régénération forestière au Québec*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 117. 180 p.

- KELTY, M.J. et R.D. NYLAND, 1981. *Regenerating Adirondack northern hardwood by shelterwood cutting and control of deer density*. Journal of Forestry 79(1) : 22-26.
- LAJOIE, P.G., 1967. *Étude pédologique des comtés de Hull, Labelle et Papineau (Québec)*. Min. Agric. Canada, Ottawa. 105 p.
- LEAK, W.B. et S.M. FILIP, 1977. *Thirty-eight years of Group Selection in New England northern hardwoods*. Journal of Forestry 75 : 641-643.
- LEAK, W.B. et R.W. WILSON, Jr., 1958. *Regeneration after cutting of old-growth northern hardwoods in New Hampshire*. USDA, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Upper Darby, PA. Stat., Pap. No. 103. 8 p.
- LEAK, W.B., D.S. SOLOMON et P.S. DeBALD, 1987. *Silvicultural guide for northern hardwood types in the northeast (revised)*. USDA, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Res. Pap. NE-603. 36 p.
- LINTEAU, A., 1948. *Factors affecting germination and early survival of yellow birch (Betula lutea Michx) in Québec*. Forestry Chronicle 24 : 27-86.
- MAJCEN, Z., Y. RICHARD et M. MÉNARD, 1984. *Écologie et dendrométrie dans le sud-ouest du Québec. Étude de douze secteurs forestiers*. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Service de la recherche, Québec. Mémoire de recherche n° 85. 333 p.
- MARQUIS, D.A., 1965. *Regeneration of birch and associated hardwoods after patch cutting*. USDA, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Upper Darby, PA. Res. Pap. NE-32. 13 p.
- MARQUIS, D.A., 1966. *Germination and growth of paper birch and yellow birch in simulated strip cuttings*. USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Upper Darby, PA. Res. Pap. NE-54. 19 p.
- MARQUIS, D.A., 1969. *Silvical requirements for natural birch regeneration*. Dans : Birch symposium proceedings, 19-21 août 1969, Durham, New Hampshire. USDA, Northeast. For. Exp. Sta., p. 40-49.
- MARQUIS, D.A., 1981. *Effect of deer browsing on timber production in Allegheny hardwood forests of northwestern Pennsylvania*. USDA, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Broomal PA. Res. Pap. NE-475. 10 p.
- MARQUIS, D. A. , J.C. BJORKBOM et G. YELENOSKY, 1964. *Effect of seedbed condition and light exposure on paper birch regeneration*. J. For. 62 : 876-881.
- MCCLURE, J.W. et T.D. LEE, 1993. *Small-scale disturbance in a northern hardwoods forest: effects on tree species abundance and distribution*. Can. J. For. Res. 23 : 1347-1360.
- MCGEE, G.G. et J.P. BIRMINGHAM, 1997. *Decaying logs as germination sites in northern hardwood forests*. North. J. Appl. For. 14(4) : 178-182.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, DE LA FAUNE ET DES PARCS, 2003. *Manuel d'aménagement forestier. 4^e édition*. Gouv. du Québec, ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Dir. des programme forestiers. 245 p.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES ET DE LA FAUNE (en préparation). *Plan de gestion du cerf de Virginie 2010-2017 Zone 11*. Direction de l'aménagement de la faune des Laurentides.
- NYLAND, R.D., 2002. *Silviculture: concept and applications. 2^e édition*. New York, McGraw-Hill. 682 p.
- RAYMOND, P., A.D. MUNSON, J.-C. RUEL et P. NOLET, 2003. *Group and single-tree selection cutting in mixed tolerant hardwood-with pine stands: Early establishment dynamics of white pine and associated species*. Forestry Chronicle 79(6) : 1093-1106.
- RICHARD, Y., Z. MAJCEN et M. MÉNARD, 1982. *Étude dendrométrique des groupements végétaux du secteur de Sainte-Véronique*. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Service de la recherche (Terres et Forêts), Québec. Rapport interne n° 229. 106 pages
- ROBERTS, M.R. et H. DONG, 1993. *Effects of soil organic layer on regeneration after clear cutting a northern hardwood stand in New Brunswick*. Can. J. For. Res. 23 : 2093-2100.
- ROBITAILLE, L. et Z. MAJCEN, 1991. *Traitements sylvicoles visant à favoriser la régénération et la croissance du bouleau jaune*. L'Aubelle 82 : 10-12.
- ROONEY, T.P. et D.M. WALLER, 2003. *Direct and indirect effect of white-tailed deer in forest ecosystems*. Forest Ecology and Management 181 : 165-176.

- RUNKLE, J.R., 1992. *Guidelines and sample protocol for sampling forest gaps*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland OR. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-283. 44 p.
- RUSSEL, F.L., D.B. ZIPPIN et N.L. FOWLER, 2001. *Effects of white-tailed deer (Odocoileus virginianus) on plants, plant populations, and communities: a review*. American Midland Naturalist 146 : 1-26.
- SAS INSTITUTE, 2005. *The GLIMMIX Procedure*, Nov. 2005 [en ligne]. SAS Institute, Inc., Cary, NC. Disponible à : <http://support.sas.com/rnd/app/papers/glimmix.pdf>.
- SAUCIER, J.-P., J.-F. BERGERON, P. GRONDIN, et A. ROBITAILLE, 1998. *Les régions écologiques du Québec méridional : un des éléments du système hiérarchique de classification écologique du territoire mis au point par le ministère des Ressources naturelles*. L'Aubelle, février-mars 1998. 8 p.
- SHIELDS, J.M. et C.R. WEBSTER, 2007. *Ground-layer response to group selection with legacy-tree retention in a managed northern hardwood forest*. Can. J. For. Res. 37 : 1797-1807.
- SHIELDS, J.M., C.R. WEBSTER, et L.M. NAGEL, 2007. *Factors influencing tree species diversity and Betula alleghaniensis establishment in silvicultural openings*. Forestry 80(3) : 293-307.
- TIERSON, W.C., E.F. PATRIC et D.F. BEHREND, 1966. *Influence of white-tail deer on the logged northern hardwood forest*. Journal of Forestry 63(12) : 801-805.
- WALTERS, R.S. et R.D. NYLAND, 1989. *Clearcutting central New York northern hardwood stands*. North. J. Appl. For. 6 : 75-78.
- WEBB, S.L., 1988. *Windstorm damage and micro-site colonization in two Minnesota forests*. Can. J. For. Res. 18 : 1186-1195.
- WESTFALL, P.H., R.D. TOBIAS, D. ROM, R.D. WOLFINGER et Y. HOCHBERG, 1999. *Multiple Comparisons and Multiple Tests Using the SAS System*. SAS Institute Inc. Cary, NC. 416 p.

Annexe I

Espèces relevées dans cette étude

Nom commun	Nom latin	Groupe d'espèce
Espèces commerciales		
Érable à sucre	<i>Acer saccharum</i> Marsh.	ERS
Bouleau jaune	<i>Betula alleghaniensis</i> Britton.	BOJ
Érable rouge	<i>Acer rubrum</i> L.	ACO
Hêtre à grandes feuilles	<i>Fagus grandifolia</i> Ehrh.	ACO
Frêne noir	<i>Fraxinus nigra</i> Marsh.	ACO
Peuplier faux-tremble	<i>Populus tremuloides</i> Michx.	ACO
Sapin baumier	<i>Abies balsamea</i> (L.) Mill.	ACO
Épinette rouge	<i>Picea rubens</i> Sarg.	ACO
Thuja occidentale	<i>Thuja occidentalis</i> L.	ACO
Espèce non commerciales		
Framboisier	<i>Rubus idaeus</i> L.	RUI
Framboisier sauvage	<i>Rubus odoratus</i> L.	RUI
Érable à épis	<i>Acer spicatum</i> Lam.	ANCO
Érable de Pennsylvanie	<i>Acer pensylvanicum</i>	ANCO
Cerisier de Pennsylvanie	<i>Prunus pensylvanicum</i> L.	ANCO
Cerisier de Virginie	<i>Prunus virginiana</i> L.	ANCO
Noisetier à log bec	<i>Corylus cornuta</i>	ANCO
Viorne à feuilles d'aulnes	<i>Viburnum alnifolium</i> Marsh.	ANCO
Dièreville chèvrefeuille	<i>Diervilla lonicera</i>	ANCO
Saule	<i>Salix</i> sp.	ANCO
Sureau pubescent	<i>Sambucus pubens</i> Michx.	ANCO



Le ministère de Ressources naturelles et de la faune a comme mandat de s'assurer de la gestion durable des forêts publiques québécoises. À cette fin, il conçoit et expérimente des traitements sylvicoles qui s'appuient sur l'autécologie des essences et qui s'inspirent de la dynamique naturelle des forêts de feuillus. Ces travaux servent notamment à définir les hypothèses de rendement du Manuel d'aménagement forestier ainsi que les modalités d'application des traitements sylvicoles. Selon ces objectifs, la Direction de la recherche forestière a entrepris des travaux visant à connaître les effets des trouées sylvicoles sur la régénération des principales essences compagnes de l'érablière. Ce mémoire de recherche forestière présente les résultats de l'établissement de la régénération dans des trouées sylvicoles d'une érablière à bouleau jaune après cinq ans.

