

$$P'(t) = \frac{r}{k} P(t)(b - P(t))$$
$$V_{AE,ik} = \beta_1 d h p_{ik}^{\beta_2} H_{ik}^{\beta_3} + \varepsilon_{2,ik}$$



## Effets réels quinquennaux des coupes de jardinage par trouées et des coupes de jardinage avec régénération par parquets pratiquées de 2000 à 2005 en forêt feuillue et mixte

par Marilou Beaudet, Steve Bédard, Marie-Claude Lambert et Jocelyn Hamel

MÉMOIRE DE RECHERCHE FORESTIÈRE N° 172

DIRECTION DE LA RECHERCHE FORESTIÈRE



# Effets réels quinquennaux des coupes de jardinage par trouées et des coupes de jardinage avec régénération par parquets pratiquées de 2000 à 2005 en forêt feuillue et mixte

par Marilou Beudet, biol., *Ph. D.*, Steve Bédard, ing.f., M. Sc.,  
Marie-Claude Lambert, stat., M. Sc. et Jocelyn Hamel, techn. for.

MÉMOIRE DE RECHERCHE FORESTIÈRE N° 172

DIRECTION DE LA RECHERCHE FORESTIÈRE

# Mandat de la DRF

La Direction de la recherche forestière a pour mandat de participer activement à l'orientation de la recherche et à l'amélioration de la pratique forestière au Québec, dans un contexte d'aménagement forestier durable, en réalisant des travaux de recherche scientifique appliquée. Elle acquiert de nouvelles connaissances, du savoir-faire et du matériel biologique et contribue à leur diffusion ou leur intégration au domaine de la pratique. Elle subventionne aussi des recherches en milieu universitaire, le plus souvent dans des créneaux complémentaires à ses propres travaux.

## Les mémoires de recherche forestière de la DRF

Depuis 1970, chacun des Mémoires de recherche forestière de la DRF est révisé par au moins trois pairs 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  
Direction de la recherche forestière  
2700, rue Einstein, Québec (Québec)  
Canada, G1P 3W8  
Courriel : [recherche.forestiere@mrn.gouv.qc.ca](mailto:recherche.forestiere@mrn.gouv.qc.ca)  
Internet : [www.mrn.gouv.qc.ca/forets/connaissances/recherche](http://www.mrn.gouv.qc.ca/forets/connaissances/recherche)

© Gouvernement du Québec

On peut citer ce texte en indiquant la référence. Citation recommandée :

Beudet, M., S. Bédard, M.-C. Lambert et J. Hamel, 2014. *Effets réels quinquennaux des coupes de jardinage par trouées et des coupes de jardinage avec régénération par parquets pratiquées de 2000 à 2005 en forêt feuillue et mixte*.  
Gouvernement du Québec, Ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière, Mémoire de recherche forestière n° 172, 41 p.

Toutes les publications produites par la Direction de la recherche forestière, du ministère des Ressources naturelles, 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.

ISSN : 1183-3912  
ISBN : 978-2-550-69943-9  
ISBN (PDF) : 978-2-550-69944-6  
F.D.C. 243  
L.C. SD 551

## Notes biographiques



**Marilou Beaudet** est biologiste, diplômée de l'Université McGill depuis 1991. En 1994, elle obtient une maîtrise ès sciences à l'Université du Québec à Montréal (UQAM) et en 2001, le même établissement lui décerne un diplôme de *Philosophiae Doctor*. En 2002 et 2003, elle effectue un stage post-doctoral en milieu

industriel en collaboration avec la compagnie Domtar. De 2006 à 2010, elle travaille comme agente de recherche au Centre d'étude de la forêt. Elle est professeure associée au Département de biologie de l'UQAM depuis 2003. Depuis 2010, elle est à l'emploi de la Direction de la recherche forestière à titre de chercheuse au sein de l'équipe de recherche en sylviculture des peuplements feuillus. Ses travaux portent sur la dynamique des peuplements feuillus après coupe partielle, particulièrement en ce qui concerne la réponse de la régénération.



**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.



**Marie-Claude Lambert** est statisticienne, diplômée de l'Université Laval depuis 1996. En 1998, le même établissement lui décernait un diplôme de maîtrise ès sciences. De 1997 à 2006, elle travaille au Centre de foresterie des Laurentides comme statisticienne, où elle collabore principalement aux projets du groupe

ECOLEAP. Depuis 2006, elle est à l'emploi de la Direction de la recherche forestière, au sein de l'équipe de biométrie.



**Jocelyn Hamel** est technicien forestier, diplômé du CÉGEP de Sainte-Foy depuis 1989. Il est à l'emploi de la Direction de la recherche forestière depuis cette même année, et technicien de classe principale depuis 2010. Il coordonne et supervise le travail d'étudiants et de techniciens forestiers au sein de l'équipe de

recherche en sylviculture des peuplements feuillus. De plus, il est responsable de la formation et de la vérification des travaux exécutés par le personnel technique dans le cadre de la mesure des effets réels des coupes de jardinage par trouées et des coupes de jardinage avec régénération par parquets. Il a également participé à l'élaboration et à la révision du protocole de mesure pour ces mêmes dispositifs.



# Remerciements

Nous remercions MM. Zoran Majcen et Sébastien Meunier pour leur contribution à l'élaboration du protocole, ainsi que MM. Pierrot Boulay et Jean-François Leblond pour le travail de coordination et de vérification pendant la phase initiale du projet. Nous tenons également à remercier le personnel du ministère des Ressources naturelles qui a participé à la coordination du projet et à la prise de données sur le terrain, dans chacune des régions impliquées. Nous remercions également MM. Étienne Boulay et Jean Noël pour leur contribution à la préparation de cartes et à l'évaluation de la superficie des parquets

à partir des photographies aériennes. Nous remercions Mmes Nathalie Langlois et Maripierre Jalbert pour leur travail de mise en page, et Mme Denise Tousignant pour l'édition du document. Les commentaires constructifs de MM. Jean-Pierre Saucier et Nelson Thiffault, ainsi que ceux de deux réviseurs anonymes, ont contribué à améliorer une version précédente du document. Les travaux dont les résultats sont présentés ici ont été réalisés dans le cadre des projets internes n<sup>os</sup> 1120558-112310045 et 1120558-112310046 de la Direction de la recherche forestière.





## Résumé

Ce mémoire présente les résultats des 5 premières années de suivi du dispositif de mesure des effets réels des coupes de jardinage par trouées (CJT) et des coupes de jardinage avec régénération par parquets (CJP), telles qu'elles ont été pratiquées de 2000 à 2005 dans les peuplements feuillus et mixtes du Québec. L'objectif principal de ce mémoire est de déterminer si les critères d'évaluation du *Manuel d'aménagement forestier* (MAF) (MRN 1998, MRNFP 2003) sont rencontrés dans des CJT et des CJP. Plus spécifiquement, les résultats présentés visent à déterminer 1) si la création de microsites propices à l'établissement de la régénération a été suffisante, notamment quant à la quantité de poquets; et 2) si les coefficients de distribution des essences objectifs et de l'ensemble des essences commerciales rencontrent les objectifs visés, 2 et 5 ans après coupe. Des résultats sont également présentés concernant la superficie des trouées et des parquets, ainsi que la densité et le recouvrement des essences commerciales et non commerciales.

Le dispositif comporte 1799 placettes de 25 m<sup>2</sup> établies dans 116 trouées de CJT (regroupées en 38 grappes) et dans 32 parquets de CJP (considérés comme 32 grappes). Chacun des sites traités a été associé à un groupe de production prioritaire : BOU pour les peuplements feuillus où les bouleaux étaient les essences objectifs, ou RBOUF pour les peuplements mixtes où les résineux constituaient également des essences objectifs, en plus des bouleaux.

La superficie des trouées était de 1027 ± 30 m<sup>2</sup> (moyenne ± 1 erreur type), et celle des parquets, de 15021 ± 995 m<sup>2</sup>. Seulement 30 à 40 % des grappes de trouées et parquets comportaient suffisamment de poquets selon les critères du MAF, car le type de machinerie utilisé n'était pas toujours adéquat pour créer des poquets. Malgré tout, la préparation de terrain effectuée avec certains de ces équipements (ex. : débusqueuse munie d'une lame râteau) a permis de réaliser un scarifiage adéquat, si on en juge par le nombre de microsites créés ainsi que par le recouvrement de sol minéral et de litière perturbée.

Le coefficient de distribution des bouleaux était de plus de 90 %, 2 et 5 ans après coupe, pour

l'ensemble des trouées et parquets. Ces valeurs sont largement supérieures aux minimums attendus de 35 % dans les CJT et de 60 % dans les CJP. Pour les résineux, les coefficients de distribution moyens, 2 et 5 ans après coupe, étaient de 67 % et 80 %, respectivement; plus de 80 % des secteurs associés à un groupe de production prioritaire mixte rencontraient les objectifs du MAF. Finalement, le coefficient de distribution attendu pour les essences commerciales (80 %) a été atteint dans la vaste majorité (≥ 97 %) des grappes de trouées et de parquets.

La densité moyenne de l'ensemble des essences commerciales, 5 ans après coupe, était de 12335 individus/ha (semis > 1 m et gaules), alors que celle des bouleaux était de 7300 individus/ha. Les bouleaux jaunes (*Betula alleghaniensis* Britton) prédominaient (6260 individus/ha) par rapport aux bouleaux à papier (1040 individus/ha) (*Betula papyrifera* Marsh.). La densité des résineux était plus faible (~180 et 470 individus/ha dans les CJT et les CJP, respectivement). Une variété d'essences non commerciales a été observée dans les dispositifs, notamment le framboisier (*Rubus idaeus* L.) et le cerisier de Pennsylvanie (*Prunus pensylvanica* L. f.). Ce dernier était l'espèce non commerciale ayant la plus forte densité (4700 individus/ha, 5 ans après coupe).

Globalement, les résultats de ce premier suivi des effets des CJT et CJP sont positifs. Les bouleaux étaient présents dans tous les secteurs traités, et leur coefficient de distribution dépassait les critères du MAF. Toutefois, les valeurs élevées de coefficients de distribution qui ont été obtenues, notamment pour les bouleaux, doivent être évaluées avec prudence. En effet, certaines caractéristiques de la méthode d'échantillonnage utilisée ont tendance à favoriser l'obtention de valeurs élevées. Notons, entre autres, la grande taille des placettes utilisées, ainsi que les critères relativement faciles à rencontrer pour qu'une placette soit considérée comme stockée (c.-à-d. l'exigence qu'un seul individu soit présent dans la placette). Les coefficients de distribution ainsi obtenus ne permettent pas nécessairement de bien détecter les secteurs moins bien régénérés. Ces points demanderaient à être pris en compte lors d'une éventuelle révision des normes relatives au suivi de la régénération.

Mots-clés: bétulaie jaune à sapin, coupe de jardinage par trouées, coupe de jardinage par parquets, érablière à bouleau jaune, préparation de terrain, régénération

## Abstract

*This paper presents results for the first 5 years of monitoring of the plot network set up to compare the effects of group selection cuttings (GSC) and patch selection cuttings (PSC), as they were performed from 2000 to 2005 in Quebec hardwood and mixedwood stands. Our main objective was to verify to what degree the assessment criteria of the “Manuel d’aménagement forestier” (MAF) (MRN 1998, MRNFP 2003) had been met in these two cutting treatments, and more specifically, to examine 1) whether enough microsites (including scarified patches) favorable to regeneration had been created, and 2) whether stocking targets had been reached for commercial species (and target species in particular), 2 and 5 years after harvesting. Results are also presented regarding the size of gaps and clear-cut patches, as well as density and cover of commercial and non-commercial species.*

*The monitoring network includes 1 799 sample plots (25 m<sup>2</sup> each) established in 166 gaps for GSC (grouped in 38 clusters) and in 32 clear-cut patches for PSC (considered as 32 clusters). Each site was assigned a target species group: birches for deciduous stands, and a combination of birches and conifers for mixedwood stands.*

*On average, gaps size was 1027 ± 30 m<sup>2</sup> (mean ± 1 standard error), and clear-cut patches measured 15021 ± 995 m<sup>2</sup>. Only 30 to 40% of gaps and clear-cut patches met the MAF criteria for the number of scarified patches, because the machinery used was not always adequate for this type of scarification. Nonetheless, some of the equipments used for site preparation (e.g.: rake-blade skidder) achieved adequate scarification, considering the number of microsites created and the proportions of surface covered by mineral soil and disturbed litter.*

*Overall, in gaps and clear-cut patches, birch stocking coefficients exceeded 90%, 2 and 5 years after cutting. These levels are well above the expected stocking thresholds of 35% in GSC and 60% in PSC. Average stocking for conifers was 67% after 2 years and 80% after 5 years; more than 80% of the plots associated to a mixed species priority production group met the MAF criteria. Finally, over 97% of gap and clear-cut patch clusters reached the target of 80% stocking for commercial species.*

*Mean density of seedlings > 1 m and saplings was 12335 stems/ha for all commercial species, and 7300 stems/ha for birches. Yellow birch (*Betula alleghaniensis* Britton, 6260 stems/ha) predominated over paper birch (*Betula papyrifera* Marsh., 1040 stems/ha). Conifer density was lower (~180 stems/ha in GSC and 470 stems/ha in PSC). Various non-commercial species were observed in the plots, including red raspberry (*Rubus idaeus* L.) and pin cherry (*Prunus pensylvanica* L. f.), the latter reaching the highest density for the category (4700 stems/ha, 5 years after cutting).*

*Overall, results of this first survey of the effects of group and patch selection cuttings are positive. Birches were present in all treated stands, at stocking levels surpassing the MAF criteria. However, the high stocking coefficients obtained should be regarded with caution, especially for birches, since certain aspects of the sampling method tend to favour the obtention of high stocking coefficients. These aspects include the large size of sample plots and the relatively low criteria for a plot to be considered as stocked (i.e., the required presence of only one individual within the plot). The resulting stocking coefficients might hinder the detection of poorly-regenerated areas. These points should be addressed when revising the standards for regeneration monitoring.*

**Keywords:** *group selection cutting, patch selection cutting, regeneration, site preparation, sugar maple–yellow birch stand, yellow birch–balsam fir stand*

# Table des matières

<b>Résumé</b> .....	vii
<b>Abstract</b> .....	viii
<b>Liste des tableaux et de l'annexe</b> .....	xi
<b>Liste des figures</b> .....	xiii
<b>Liste des abréviations</b> .....	xv
<b>Introduction</b> .....	1
Mesure des effets réels .....	1
Contexte .....	1
Conditions d'application et critères d'évaluation .....	2
Objectifs .....	3
<b>Chapitre premier – Méthodologie</b> .....	5
1.1 Dispositif.....	5
1.1.1 Sélection et répartition des CJT et CJP .....	5
1.1.2 Installation des placettes de suivi .....	6
1.2 Prise de données.....	7
1.2.1 Prise de mesures après coupe .....	7
1.2.1.1 Dimension des trouées et parquets .....	7
1.2.1.2 Évaluation de la préparation de terrain .....	8
1.2.2 Prise de mesures 2 ans après coupe.....	8
1.2.2.1 Dénombrement .....	8
1.2.2.2 Recouvrement.....	8
1.2.3 Prise de mesures 5 ans après coupe.....	8
1.2.3.1 Dénombrement .....	8
1.2.3.2 Recouvrement.....	8
1.3 Traitement et analyse des données.....	8
1.3.1 Évaluation de la superficie des parquets à partir de photographies aériennes.....	8
1.3.2 Attribution des groupes de production prioritaire.....	8
1.3.3 Analyses statistiques .....	9
1.3.3.1 Généralités.....	9
1.3.3.2 Poquets, microsites et lits de germination.....	9
1.3.3.3 Coefficients de distribution .....	9
1.3.3.3.1 Autres méthodes de calcul des coefficients de distribution .....	10
1.3.3.3.1.1 Utilisation de placettes plus petites .....	10
1.3.3.3.1.2 Hausse du nombre minimal d'individus requis pour qu'une placette soit considérée comme stockée .....	10
1.3.3.4 Recouvrement.....	10
1.3.3.5 Densité.....	10
1.3.3.6 Évaluation des facteurs influençant le succès de régénération du bouleau jaune .....	10

<b>Chapitre deux – Résultats</b> .....	13
2.1 Portrait des secteurs de coupe étudiés .....	13
2.1.1 Caractéristiques des strates traitées .....	13
2.1.2 Dimensions des trouées et des parquets .....	13
2.2 Préparation de terrain.....	13
2.2.1 Types de préparation de terrain .....	13
2.2.2 Poquets.....	13
2.2.2.1 Résultats obtenus par rapport aux critères d'évaluation .....	13
2.2.2.2 Effet du traitement sylvicole et de la méthode de préparation de terrain .....	14
2.2.3 Microsites propices.....	14
2.2.3.1 Résultats obtenus par rapport aux critères d'évaluation .....	14
2.2.3.2 Effet du traitement sylvicole et de la méthode de préparation de terrain .....	15
2.2.4 Recouvrement des différents types de lits de germination .....	15
2.3 Portrait 2 ans après coupe .....	17
2.3.1 Coefficients de distribution .....	17
2.3.1.1 Essences principales objectifs.....	17
2.3.1.2 Essences commerciales .....	17
2.3.2 Recouvrement des essences non commerciales .....	17
2.4 Portrait 5 ans après coupe .....	19
2.4.1 Coefficients de distribution .....	19
2.4.1.1 Coefficients de distribution calculés de façon standard.....	19
2.4.1.1.1 Essences principales objectifs.....	19
2.4.1.1.2 Essences commerciales.....	19
2.4.1.2 Coefficients de distribution calculés avec d'autres critères .....	21
2.4.1.2.1 Utilisation de placettes plus petites .....	21
2.4.1.2.2 Hausse du nombre minimal d'individus requis pour qu'une placette soit considérée comme stockée .....	21
2.4.2 Densité.....	22
2.4.3 Recouvrement des essences non commerciales .....	25
2.4.4 Évaluation des facteurs influençant le succès de régénération du bouleau jaune .....	25
<b>Chapitre trois – Discussion</b> .....	27
3.1 Préparation de terrain.....	27
3.2 Coefficients de distribution des essences objectifs et de l'ensemble des essences commerciales	28
3.2.1 Dimension des placettes de régénération .....	28
3.2.2 Critères à rencontrer pour qu'une placette soit considérée comme stockée.....	29
3.2.3 Conclusions concernant les méthodes de calculs des coefficients de distribution .....	30
3.3 Densité et recouvrement des essences commerciales et non commerciales .....	30
<b>Conclusion</b> .....	33
<b>Références bibliographiques</b> .....	35
<b>Annexe</b> .....	41

## Liste des tableaux et annexe

<b>Tableau 1.</b> Critères relatifs à l'évaluation de la préparation de terrain après l'intervention, et à celle des coefficients de distribution de la régénération, au premier suivi (2 ans après coupe selon MRN 1999, ou 2 à 4 ans après coupe selon MRNF 2007) dans les CJT et CJP .....	3
<b>Tableau 2.</b> Répartition du nombre de parquets de CJP et de grappes de trouées de CJT par région administrative, région écologique, année d'établissement des dispositifs et groupe de production prioritaire .....	5
<b>Tableau 3.</b> Coefficient de distribution (en %) des semis et des gaules, 2 ans après coupe, pour les essences objectifs et les principales essences commerciales, considérées ensemble ou individuellement .....	18
<b>Tableau 4.</b> Pourcentage de recouvrement 2 ans après coupe des principales essences ou groupes d'essences non commerciales (c.-à-d. pour lesquels le recouvrement moyen était supérieur à 1 %), en ordre décroissant de recouvrement moyen .....	19
<b>Tableau 5.</b> Coefficient de distribution (en %) des semis et des gaules, 5 ans après coupe, pour les essences objectifs et les principales essences commerciales, considérées ensemble ou individuellement .....	20
<b>Tableau 6.</b> Coefficients de distribution (en %) des semis et des gaules pour les divers groupes d'essences, 5 ans après coupe, calculés à partir des données de présence par placette de 25 m <sup>2</sup> ou par quadrat de 6,25 m <sup>2</sup> .....	21
<b>Tableau 7.</b> Pourcentage des grappes avec des coefficients de distribution égaux ou supérieurs à ceux spécifiés dans les critères d'évaluation du MAF (c.-à-d. pour les bouleaux et les résineux : 35 % dans les trouées et 60 % dans les parquets; pour l'ensemble des essences commerciales : 80 % dans les deux traitements), selon la grandeur des placettes utilisées .....	21
<b>Tableau 8.</b> Pourcentage des grappes avec des coefficients de distribution égaux ou supérieurs à ceux spécifiés dans les critères d'évaluation du MAF (c.-à-d. pour les bouleaux et les résineux : 35 % dans les trouées et 60 % dans les parquets; pour l'ensemble des essences commerciales : 80 % dans les 2 traitements), selon le nombre minimal d'individus (semis de 1 m et plus ou gaules) exigé pour qu'une placette de 25 m <sup>2</sup> soit considérée comme stockée .....	23
<b>Tableau 9.</b> Densité (en individus/ha) des semis de 1 m et plus et des gaules, 5 ans après coupe, pour les essences objectifs et les principales essences commerciales, considérées ensemble ou individuellement .....	24
<b>Tableau 10.</b> Résultats de tests d'ANOVA ou de régression linéaire simple visant à identifier les variables explicatives qui influencent le coefficient de distribution (semis et gaules) ou la densité (semis de 1 m et plus et gaules) du bouleau jaune 5 ans après coupe .....	25
<b>Annexe.</b> Abréviations des noms d'espèces et des groupes d'espèces .....	41



# Liste des figures

<b>Figure 1.</b>	Répartition géographique des grappes de trouées et des parquets étudiés pour la mesure des effets réels des CJT et des CJP .....	6
<b>Figure 2.</b>	Exemple de disposition des placettes a) dans une trouée de CJT (ici, d'environ 1 000 m <sup>2</sup> de superficie) et b) selon une grille systématique dans un parquet de CJP (ici, d'environ 1,2 ha).....	7
<b>Figure 3.</b>	Distribution de fréquence de la superficie a) des trouées de CJT et b) des parquets de CJP ...	14
<b>Figure 4.</b>	Répartition des grappes selon le type de préparation de terrain reçue, pour chacun des deux traitements étudiés .....	14
<b>Figure 5.</b>	Répartition des grappes de trouées et de parquets selon la densité moyenne de poquets qui y a été mesurée .....	15
<b>Figure 6.</b>	Effet du type de préparation de terrain sur a) le nombre moyen de poquets par hectare, b) le nombre moyen de microsites propices par hectare, et c) la proportion de sol minéral et de litière perturbée .....	15
<b>Figure 7.</b>	Répartition des grappes de trouées et de parquets selon la densité moyenne de microsites propices qui y a été mesurée .....	16
<b>Figure 8.</b>	Proportion des différents types de lit de germination (moyennes $\pm$ 1 erreur type des valeurs par grappe) en fonction a) du traitement et b) de la méthode de préparation de terrain .....	16
<b>Figure 9.</b>	Répartition des grappes en fonction des valeurs de coefficients de distribution obtenues 5 ans après coupe, selon la grandeur des placettes utilisées, pour les bouleaux dans a) les CJP et b) les CJT, et pour les résineux dans c) les CJP et d) les CJT .....	22
<b>Figure 10.</b>	Coefficients de distribution moyens ( $\pm$ 1 erreur type), 5 ans après coupe, obtenus pour l'ensemble des grappes de trouées et parquets en fonction du nombre minimal d'individus exigé (semis de 1 m et plus ou gaules) pour qu'une placette soit considérée comme stockée .....	23
<b>Figure 11.</b>	Répartition des grappes de trouées et des parquets par classe de densité de l'ensemble des essences commerciales observées 5 ans après coupe, pour les semis de 1 m et plus et les gaules .....	31





## Liste des abréviations (autres que les noms d'espèces)\*

ANOVA	Analyse de variance
BDEC	Bois décomposé
BSAI	Bois sain
BOU	Bouleaux (incluant le bouleau jaune et le bouleau à papier)
CAAF	Contrat d'approvisionnement et d'aménagement forestier
CJT	Coupe de jardinage par trouées
CJP	Coupe de jardinage avec régénération par parquets
dhp	Diamètre à hauteur de poitrine (1,3 m)
DRF	Direction de la recherche forestière
GPP	Groupe de production prioritaire
LITF	Litière de feuilles non décomposées
LITP	Litière perturbée (mélange d'humus et de sol minéral)
MAF	Manuel d'aménagement forestier
MIN	Sol minéral
MOS	Mousses et sphaignes
MRN	Ministère des Ressources naturelles
MRNF	Ministère des Ressources naturelles et de la Faune
MRNFP	Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs
RBOUF	Résineux en association avec des bouleaux dans un peuplement mixte à dominance feuillue
RCH	Roche
SOU	Souche

---

\* Voir l'annexe 1 pour les abréviations des noms d'espèces et des groupes d'espèces



# Introduction

## Mesure des effets réels

En 1995, le ministère des Ressources naturelles (MRN) s'est engagé dans un programme de mesure des effets réels des traitements sylvicoles. Ce programme a pour principal objectif d'évaluer les effets des traitements sylvicoles réalisés de façon opérationnelle et de les comparer aux effets escomptés et aux hypothèses de rendement associés aux différents traitements, tels qu'ils sont formulés dans le *Manuel d'aménagement forestier* (MAF) (MRN 1998, MRNFP 2003) et selon les modalités spécifiées dans les *Instructions relatives à l'application de l'arrêté ministériel sur la valeur des traitements sylvicoles admissibles en paiement des droits* (ci-après nommées «Instructions relatives») (ex. : MRN 2000). Les connaissances ainsi acquises permettront d'ajuster, s'il y a lieu, les rendements attribuables aux superficies soumises à ces traitements sylvicoles, de réviser les pratiques forestières et de procéder aux ajustements normatifs nécessaires à l'atteinte des rendements attendus (MRNFP 2003). Déjà, plusieurs dispositifs de mesure des effets réels ont été installés à l'échelle provinciale pour mesurer les effets de différents traitements sylvicoles.

Au Québec, la coupe de jardinage par trouées (CJT) et la coupe de jardinage avec régénération par parquets (CJP) sont deux traitements sylvicoles qui ont été introduits en 1998 dans la 3<sup>e</sup> édition du MAF (MRN 1998). En 2000, peu de temps après l'introduction de ces traitements dans le MAF, des dispositifs de mesure de leurs effets réels ont été implantés dans plusieurs régions du Québec.

## Contexte

La CJT et la CJP ont toutes deux pour objectif de favoriser la régénération d'essences semi-tolérantes à l'ombre, comme le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britton), ou intolérantes, comme le bouleau à papier (*Betula papyrifera* Marsh.) (Burns et Honkala 1990). La régénération des bouleaux, et particulièrement celle du bouleau jaune, pose des défis importants en sylviculture (Roberge 1969, Robitaille et Roberge 1981, Perala et Alm 1990a). Le bouleau jaune se régénère naturellement dans des ouvertures de diverses tailles, allant de trouées relativement petites (Webster et Lorimer 2005) à des ouvertures plus grandes comme celles créées par des chablis (Henry et Swan 1974) ou des feux (Roberge 1969). Toutefois, les conditions nécessaires à son

installation et à son maintien dans les peuplements sont parfois difficiles à recréer après les coupes forestières (Willis et Johnson 1978).

En effet, les traitements sylvicoles qui ne créent que de très petites ouvertures (par exemple de diamètre inférieur à 0,5H\* et donc, de superficie inférieure à ~80 à 120 m<sup>2</sup>), comme la coupe de jardinage par pied d'arbre, favorisent plutôt la régénération des essences tolérantes à l'ombre (Crow et Metzger 1987, Leak *et al.* 1987, Lessard *et al.* 1999). Par exemple, Leak et Sendak (2002) ont observé qu'après 48 ans de coupe de jardinage par pied d'arbre dans des forêts de feuillus nordiques, le pourcentage d'essences intolérantes et semi-tolérantes à l'ombre avait diminué de 23 % à seulement 7 %.

Plusieurs études ont démontré un certain succès à régénérer les essences intolérantes ou semi-tolérantes à l'ombre, comme les bouleaux, après des coupes dans lesquelles des ouvertures de plus grande dimension étaient pratiquées. Ainsi, à la forêt de Bartlett (New Hampshire), Leak et Filip (1977) rapportent avoir observé de 25 à 33 % d'essences semi-tolérantes et intolérantes à l'ombre dans du jardinage par trouées<sup>†</sup> dans lequel les ouvertures mesuraient 2 000 m<sup>2</sup> en moyenne. Toujours à Bartlett, Leak et Gottsacker (1985) ont observé une proportion plus grande d'essences intolérantes et semi-tolérantes à l'ombre, soit 33 %, dans un jardinage par trouées dans lequel les ouvertures mesuraient de 2 000 à 2 500 m<sup>2</sup> environ ; par comparaison, cette proportion n'était que de 10 % dans un jardinage par pied d'arbre. Ces mêmes auteurs ont observé une proportion encore plus élevée d'essences peu tolérantes, soit 50 %, dans des ouvertures de 4 000 à 8 000 m<sup>2</sup>. Pour leur part, Dale *et al.* (1994) ont présenté des résultats obtenus 30 ans après des coupes par trouées, lors desquelles des ouvertures de 160 m<sup>2</sup> à 6 500 m<sup>2</sup>

\* On exprime souvent la taille des trouées en fonction de la hauteur du peuplement (H). Ainsi, pour un peuplement de 20 m de hauteur en moyenne, des trouées dont le diamètre est de 0,5H auront une superficie de 79 m<sup>2</sup>, alors que dans un peuplement atteignant 25 m de hauteur, leur superficie serait de 123 m<sup>2</sup>. De plus, on peut noter (à titre indicatif) que selon le Guide sylvicole du Québec (MRN 2013), les ouvertures créées par la récolte de groupes d'arbres dans la coupe de jardinage par pied d'arbre et groupes d'arbres devraient mesurer de 0,5H à 1H, alors que les trouées de la CJT devraient mesurer de 1H à 2H.

<sup>†</sup> L'article, en anglais, utilise l'appellation *group selection*.

avaient été pratiquées dans des peuplements du centre-nord des États-Unis. Ils ont observé un lien positif entre la proportion des essences semi-tolérantes et intolérantes à l'ombre et la grandeur des ouvertures. Au cours des années 1970 et au début des années 1980, la coupe par bandes a été expérimentée au Québec (Roberge 1977, Boivin 1985) et proposée comme autre méthode pour régénérer le bouleau jaune (Robitaille et Roberge 1981). Hatcher (1966), quant à lui, a testé dans le secteur de Valcartier l'effet de différentes grandeurs de trouées (400 m<sup>2</sup> et 1 000 m<sup>2</sup>), combinées ou non à un léger scarifiage et à un ensemencement de bouleau jaune. Tous les traitements expérimentés ont été favorables à la régénération du bouleau jaune. Au cours des années 1990, l'utilisation des trouées comme moyen sylvicole pour promouvoir la régénération en essences désirées a été mise de l'avant au Québec (Lessard *et al.* 1999). En même temps, on a assisté à l'introduction au MAF des deux traitements à l'étude dans le présent document, soit la CJT et la CJP. De façon plus globale, on peut noter un intérêt croissant au cours des deux dernières décennies à l'égard des traitements sylvicoles dans lesquels on a recours à une diversité de tailles de trouées (Shields *et al.* 2007, Gasser *et al.* 2010, Arseneault *et al.* 2011).

Outre la grandeur des ouvertures, il est bien connu que la disponibilité de lits de germination adéquats est un facteur de grande importance pour la régénération des bouleaux (Perala et Alm 1990a, 1990b, Shields *et al.* 2007, Bolton et D'Amato 2011). Les lits de germination qui favorisent l'installation des bouleaux incluent notamment le sol minéral mis à nu ou mélangé à de l'humus perturbé (Perala et Alm 1990b). Bien qu'un certain degré de perturbation soit engendré par le seul passage de la machinerie lors des opérations de récolte et de débusquage des tiges (Marquis 1965, Lorenzetti *et al.* 2008, Prévost *et al.* 2010), et bien qu'un tel degré de perturbation ait été répertorié comme étant bénéfique à l'installation du bouleau jaune (Marquis 1965, Hatcher 1966), on reconnaît généralement qu'un traitement spécifique de préparation de terrain augmente les chances d'obtenir une installation adéquate des bouleaux (Barrett *et al.* 1962, Roberge 1977, Perala et Alm 1990a). Plusieurs méthodes peuvent être employées pour scarifier le parterre forestier (Wagner et Colombo 2001, Prévost et Thiffault 2013). L'une d'elles consiste à effectuer un traitement de scarifiage partiel par poquets, c.-à-d. mettre à nu le sol minéral sur de petites superficies (ex. : environ 2 m x 3 m pour un poquet simple) du parterre de coupe (MRN 2000). Cette méthode de préparation de terrain a été proposée pour favoriser l'installation des bouleaux dans les CJT et les CJP (Elie *et al.* 2009). Elle permet non seulement d'exposer

localement le sol minéral, mais aussi de détruire la régénération préétablie des essences non désirées. On espère ainsi à la fois promouvoir l'installation de la régénération des bouleaux, et contrôler localement la pression de compétition exercée par les essences non désirées.

### Conditions d'application et critères d'évaluation

Selon le MAF en vigueur au moment de l'installation de ce projet de mesure des effets réels (MRN 1998), les types de peuplements visés par la CJT et la CJP sont d'abord les peuplements feuillus destinés à la production prioritaire de bouleaux, de chênes ou d'autres essences feuillues peu tolérantes, puis ceux destinés à des productions prioritaires constituées d'associations de pins et de bouleaux dans lesquelles le bouleau jaune prédomine sur le bouleau blanc. Les traitements de CJT et de CJP visent aussi les peuplements mixtes à dominance feuillue constitués de résineux en association avec des bouleaux ou d'autres essences feuillues peu tolérantes. Dans la version plus récente du MAF (MRNFP 2003), les groupes de productions prioritaires (GPP) associés aux traitements de CJT et de CJP sont les bouleaux (BOU), les chênes ou les feuillus peu tolérants dans les peuplements feuillus, et les associations de résineux et bouleaux (RBOUF) dans les peuplements mixtes.

La CJT implique la formation de trouées de 500 à 1 500 m<sup>2</sup> occupant environ 10 % de la superficie jardinée, alors que la CJP implique la formation de parquets de 1 à 2 ha occupant 15 à 20 % de la superficie traitée (MRN 1998). Lorsque le bouleversement du sol lors de la récolte ne génère pas assez de microsites propices à la régénération des essences principales objectifs (ex. : bouleaux), un scarifiage partiel doit être effectué. Les effets escomptés de la préparation de terrain doivent être évalués à partir de critères spécifiés dans les instructions relatives (ex. : MRN 2000). En résumé, le nombre de poquets doit être de 200/ha (minimum 150/ha) dans les trouées de CJT et de 400/ha (minimum de 300/ha) dans les parquets de CJP (Tableau 1a). De plus, chaque poquet doit respecter des dimensions minimales et comporter une superficie scarifiée (c.-à-d. avec sol minéral mis à nu ou avec un mélange de sol minéral et de sol organique) d'au moins 1 m<sup>2</sup>.

Puisqu'un des objectifs des CJT et des CJP est de favoriser la régénération des essences semi-tolérantes à l'ombre, les critères d'évaluation de ces deux traitements concernent principalement la régénération des essences principales objectifs (ex. : les bouleaux dans le GPP BOU, et les bouleaux et les résineux dans le GPP RBOUF), tout en tenant compte de la régénération de l'ensemble

**Tableau 1.** Critères relatifs à l'évaluation de la préparation de terrain après l'intervention, et à celle des coefficients de distribution de la régénération, au premier suivi (2 ans après coupe selon MRN 1999, ou 2 à 4 ans après coupe selon MRNF 2007) dans les CJT et CJP.

	Traitement		Référence
	CJT	CJP	
a) Nombre de poquets résultant de la préparation de terrain par scarifiage partiel (n/ha)	200 ( $\geq$ 150)*	400 ( $\geq$ 300)*	MRN 2000
b) Coefficient de distribution pour les essences principales objectifs	$\geq$ 35 %	$\geq$ 60 %	MRNFP 2003
c) Coefficient de distribution pour l'ensemble des essences commerciales	$\geq$ 80 %	$\geq$ 80 %	MRNFP 2003

\* Dans MRN (2000), on spécifie des valeurs visées et des valeurs minimales à rencontrer (ici présentées entre parenthèses).

des essences commerciales. Les critères d'évaluation du succès de régénération sont formulés en ce qui a trait aux coefficients de distribution attendus pour les essences désirées, après traitement dans les trouées et les parquets.

Un premier suivi des interventions vise à obtenir les informations nécessaires pour s'assurer qu'une régénération suffisante sera présente sur les superficies traitées et que les objectifs prévus pour le GPP sont atteints (MRNF 2007). Au moment d'initier le présent projet de mesure des effets réels, on spécifiait dans les *Méthodes d'échantillonnage pour les suivis des interventions forestières* (MRN 1999) que dans les CJT et les CJP, le premier suivi devait être effectué 2 ans après traitement. Des plages de temps plus larges sont désormais suggérées pour la réalisation du premier suivi. Ainsi, dans MRNF (2007), on spécifie que le premier suivi peut être effectué de 2 à 4 ans après traitement.

Les coefficients de distribution de la régénération sont évalués (pour les essences qui nous concernent ici) au sein de placettes circulaires de 25 m<sup>2</sup> disposées en grappes linéaires de 10 placettes (MRNF 2007). Lors du premier suivi, le coefficient de distribution des principales essences objectifs doit être d'au moins 35 % dans les trouées de CJT, et d'au moins 60 % dans les parquets de CJP (MRNFP 2003) (Tableau 1b). Le coefficient de distribution de l'ensemble des essences commerciales doit, quant à lui, être d'au moins 80 % pour les deux traitements (MRNFP 2003) (Tableau 1c). Dans le cas des productions prioritaires mixtes, les essences principales objectifs comprennent à la fois les bouleaux et les essences résineuses.

### Objectifs

Le présent document couvre la première période quinquennale de suivi des dispositifs de mesure des effets réels des CJT et CJP. Des résultats seront présentés pour trois mesurages effectués durant

cette période. Le premier mesurage a été effectué immédiatement (ou tout au plus quelques mois) après la coupe et la préparation de terrain. Il a permis d'évaluer les effets de la préparation de terrain sur la création de poquets et de microsites propices à la régénération des essences objectifs. La dimension des trouées et des parquets a aussi été établie. Les deuxième et troisième mesurages ont été effectués 2 et 5 ans après traitement, respectivement, pour évaluer l'installation et le développement de la régénération et de la végétation concurrente.

L'objectif principal de ce mémoire est de déterminer si les critères d'évaluation relatifs à la préparation de terrain et à la régénération observée au premier suivi après intervention sont rencontrés dans des CJT et des CJP appliquées de façon opérationnelle dans plusieurs régions du Québec. Plus spécifiquement, nous évaluerons 1) si la création de microsites propices à l'établissement de la régénération a été suffisante par rapport aux critères d'évaluation des traitements de préparation de terrain (Tableau 1a); et 2) si 2 et 5 ans après intervention, les coefficients de distribution des essences objectifs et de l'ensemble des essences commerciales rencontrent les objectifs visés pour le premier suivi après traitement (Tableau 1b, c).

Un objectif secondaire de ce mémoire est de documenter, de façon plus globale, la réponse de la régénération en essences commerciales et non commerciales, 2 et 5 ans après intervention. À cette fin, nous nous sommes intéressés à des variables telles que la densité et le recouvrement et avons testé l'effet du traitement et du groupe de production prioritaire.

Finalement, des recommandations seront formulées au sujet des méthodes d'application et de suivi des traitements de CJT et de CJP.



# Chapitre premier

## Méthodologie

### 1.1 Dispositif

#### 1.1.1 Sélection et répartition des CJT et CJP

Les résultats proviennent de 116 trouées pratiquées dans 38 secteurs traités en CJT, ainsi que de 32 parquets de CJP. Les dispositifs de suivi des mesures des effets réels ont été établis de 2000 à 2005. Dans le cas des CJT, plusieurs trouées (généralement trois) issues d'une même intervention ont été échantillonnées dans chacun des secteurs étudiés. Nous utiliserons le terme «grappe» pour désigner ces regroupements de trouées. Chacune des grappes est considérée comme une répétition du traitement de CJT. Dans le cas des CJP, chaque parquet individuel est considéré comme une répétition du traitement, car généralement un seul parquet a été échantillonné par secteur et par année d'intervention. Nous utiliserons à l'occasion le terme «grappe» dans le contexte des CJP; dans de tels cas, une «grappe» désignerait en fait un parquet.

Conformément à ce que stipule le MAF (MRNFP 2003) relativement aux principes de base à respecter pour l'établissement d'un protocole de mesure des effets réels, les protocoles d'échantillonnage doivent être établis sur la base des régions écologiques de façon à obtenir une représentation valable des écosystèmes traités, en tenant compte des traitements inscrits aux plans d'aménagement et d'intervention soumis au ministre par les bénéficiaires des contrats d'approvisionnement et d'aménagement forestier (CAAF de l'époque). Ainsi, les dispositifs de mesure des effets réels de CJT et de CJP ont été établis dans les domaines bioclimatiques de l'érablière à bouleau jaune (régions écologiques 3a et 3b dans le sous-domaine de l'Ouest, et régions 3c et 3d dans le sous-domaine de l'Est) et de la sapinière à bouleau jaune (régions écologiques 4b et 4c dans le sous-domaine de l'Ouest) (Saucier *et al.* 1998). Les parquets et les grappes de trouées sélectionnés sont répartis parmi les régions administratives et régions écologiques, par année d'établissement (Tableau 2). On remarquera que les dispositifs de mesure des effets réels des CJP ne sont présents que dans 3 des 6 régions écologiques dans lesquelles des suivis de CJT ont été entrepris, c.-à-d. dans les régions 3a, 3c et 4c. Cette distribution plus irrégulière des CJP reflète le recours moins fréquent à ce traitement sylvicole, en comparaison avec la CJT.

**Tableau 2.** Répartition du nombre de parquets de CJP et de grappes de trouées de CJT par région administrative, région écologique, année d'établissement des dispositifs et groupe de production prioritaire. Dans le cas des CJT, le nombre de grappes de trouées est suivi du nombre de trouées individuelles entre parenthèses.

	CJP Nombre de parquets	CJT Nombre de grappes (nombre de trouées)	
<i>Région administrative</i>			
03	2	8	(24)
04	9	—	
05	—	2	(6)
06	6	10	(30)
07	9	8	(26)
08	6	10	(30)
<b>Total</b>	<b>32</b>	<b>38</b>	<b>(116)</b>
<i>Région écologique</i>			
3a	15	15	(45)
3b	—	4	(12)
3c	4	4	(12)
3d	—	4	(12)
4b	—	1	(5)
4c	13	10	(30)
<b>Total</b>	<b>32</b>	<b>38</b>	<b>(116)</b>
<i>Année d'établissement</i>			
2000	4	6	(18)
2001	6	8	(26)
2002	—	3	(9)
2003	11	11	(33)
2004	8	4	(12)
2005	3	6	(18)
<b>Total</b>	<b>32</b>	<b>38</b>	<b>(116)</b>
<i>Groupe de production prioritaire</i>			
BOU	6	21	(63)
RBOUF	26	17	(53)
<b>Total</b>	<b>32</b>	<b>38</b>	<b>(116)</b>

Les trouées et les parquets étudiés sont situés entre les latitudes 45° 28' 36" et 47° 57' 08" N., et entre les longitudes 78° 58' 13" et 70° 11' 57" O. (Figure 1). L'altitude des sites échantillonnés varie de 220 à 850 m (417 m en moyenne). La température et les précipitations annuelles moyennes varient

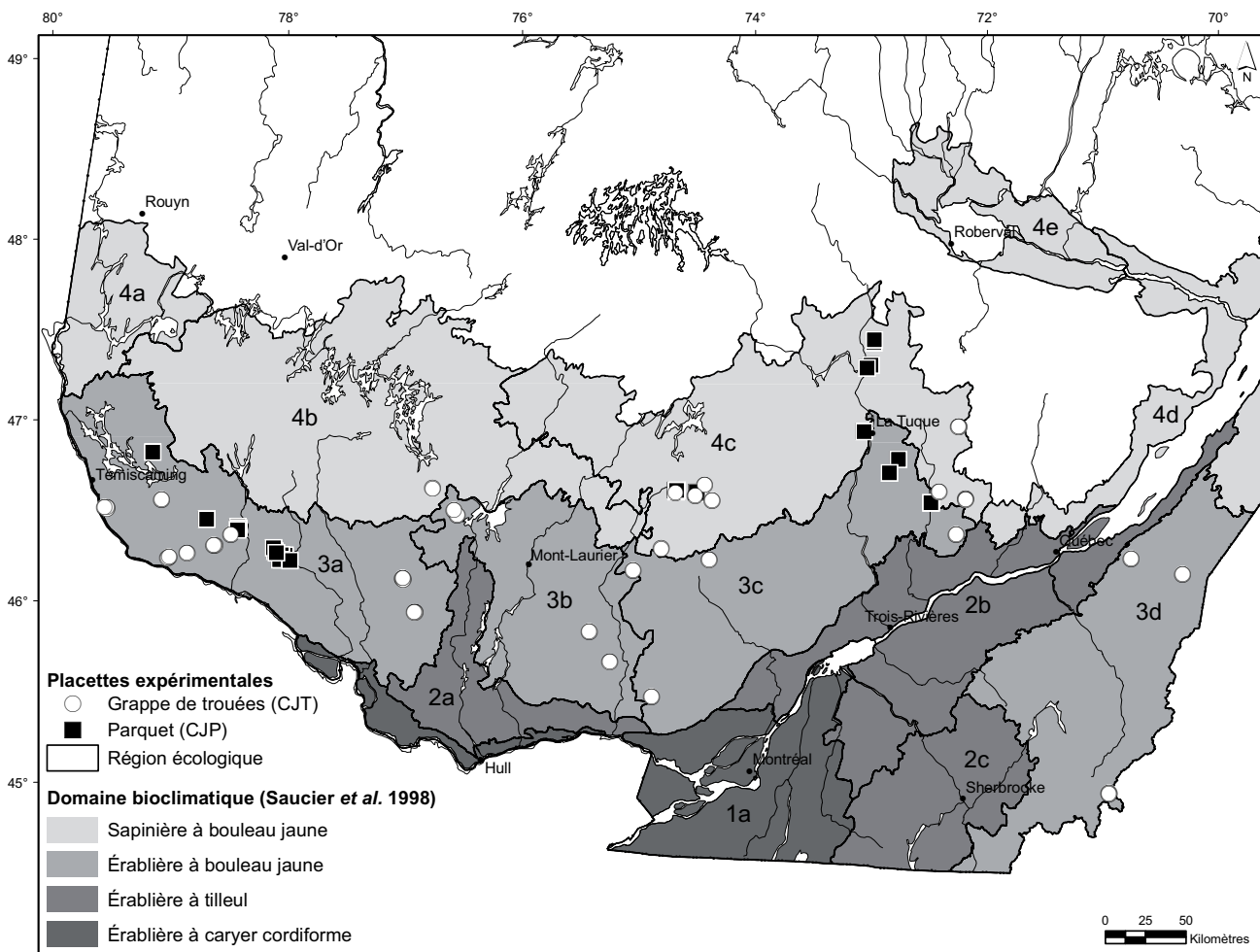
de 0,7 à 4,1 °C et de 912 à 1306 mm, respectivement (normales climatiques 1981-2010; Régnière et St-Amant 2008).

La sélection des peuplements à l'étude, la localisation des grappes, l'installation et la mesure des placettes échantillons ont été effectuées par le personnel des unités de gestion du MRN, après approbation du plan de sondage par les personnes responsables de ces dispositifs à la Direction de la recherche forestière (DRF). Les peuplements à échantillonner ont été sélectionnés parmi l'ensemble de ceux pour lesquels un traitement de CJT ou de CJP était planifié pour l'année en cours par les industriels bénéficiaires de CAAF. Ces derniers ou leurs mandataires ont exécuté les opérations liées à la récolte et à la préparation de terrain. La répartition des dispositifs de mesure des effets réels des CJT et CJP sur l'ensemble du territoire public du Québec méridional reflète donc l'importance de l'utilisation de ces traitements par région, pour la période de 2000 à 2005.

### 1.1.2 Installation des placettes de suivi

Les trouées et les parquets sélectionnés pour la mesure des effets réels devaient respecter un certain nombre de conditions spécifiées dans le protocole (Bédard *et al.* 2001, 2003). Notamment, on devait rechercher des trouées et des parquets de dimensions conformes aux spécifications du MAF et des Instructions relatives (MRN 1998, 2000). De plus, une préparation de terrain adéquate devait avoir été réalisée avant le début de la prise de données.

Le critère de conformité de la dimension des trouées et des parquets, par rapport aux spécifications du MAF, s'est avéré difficile à respecter dans certaines régions où les pratiques en cours tendaient à créer des ouvertures plus petites ou plus grandes que celles prescrites. Afin de s'assurer d'échantillonner dans ces régions malgré tout, le personnel de la DRF en charge des dispositifs de la mesure des effets réels de ces traitements a donné son accord à l'installation de placettes dans de tels secteurs, malgré les écarts pouvant exister par rapport aux



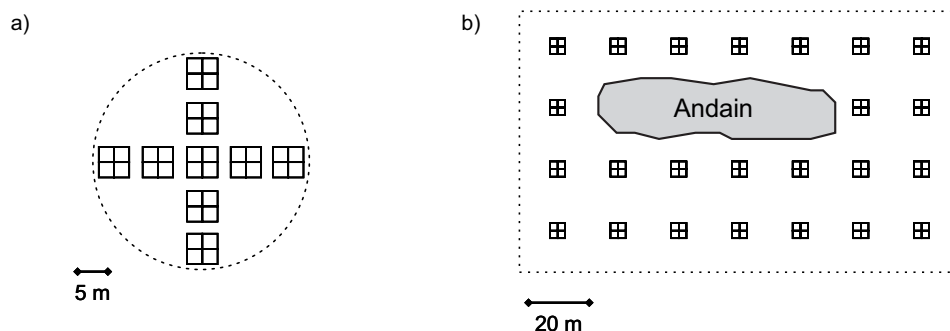


dimensions recommandées. Il a été considéré que ceci permettrait d'obtenir un portrait plus représentatif des pratiques en cours concernant ces traitements, tout en procurant des données provenant d'un intervalle élargi de conditions.

Les données ont été prises dans des placettes carrées de 25 m<sup>2</sup> (5 m x 5 m) établies dans les trouées et les parquets. Aucune placette n'a été établie dans la partie jardinée des peuplements. Afin de faciliter la prise de données, chaque placette de 5 m x 5 m a été subdivisée en 4 quadrats de 2,5 m x 2,5 m; les prises de mesures s'effectuaient par quadrat.

Dans les trouées, une première placette a été établie au centre de la trouée (Figure 2a). L'emplacement du centre de la trouée était déterminé par le croisement des axes perpendiculaires les plus longs reliant les extrémités de la trouée (Runkle 1992). Par la suite, des placettes supplémentaires étaient établies le long des axes nord-sud et est-ouest de la trouée (Figure 2a). La majorité des trouées comportaient de 5 à 9 placettes, et la distance, de centre à centre, entre les placettes variait de 7 à 10 m selon les dimensions de la trouée (voir Bédard et al. 2003).

Dans les parquets, les placettes de 25 m<sup>2</sup> ont été réparties systématiquement selon une grille de 20 m x 20 m, à moins que la présence d'un obstacle (ex. : andain) n'empêche l'installation de certaines placettes (Figure 2b). Si tel était le cas, la placette prévue pouvait être déplacée jusqu'à 5 m, ou ne pas être installée et l'on passait à la prochaine placette prévue selon la grille. Les placettes devaient être situées à au moins 5 m de la bordure du parquet. Le nombre de placettes par parquet variait de 15 à 52, selon la superficie du parquet.



**Figure 2.** Exemple de disposition des placettes a) dans une trouée de CJT (ici, d'environ 1 000 m<sup>2</sup> de superficie) et b) selon une grille systématique dans un parquet de CJP (ici, d'environ 1,2 ha). Les placettes de 25 m<sup>2</sup> correspondent aux carrés de plus grande dimension; ceux-ci sont subdivisés en 4 quadrats de 6,25 m<sup>2</sup> chacun. On notera que l'échelle diffère entre les 2 portions de la figure.

## 1.2 Prise de données

La méthodologie utilisée pour la prise de données est décrite en détail dans le protocole d'installation et de prise de mesures (Bédard et al. 2001, 2003). Les principaux aspects sont résumés ci-après.

### 1.2.1 Prise de mesures après coupe

La première prise de données devait être réalisée le plus tôt possible après l'approbation de la coupe et de la préparation de terrain par le Ministère. Un délai maximum de trois mois dans une même saison de végétation était accepté. Si la préparation de terrain était effectuée tard à l'automne, après la chute des feuilles, une prise de données au début de la saison de croissance suivante était jugée acceptable.

Cette première prise de données comprenait l'évaluation des variables usuelles de la strate cartographique (groupement d'essences, classe de densité, classe de hauteur, etc.) à partir des cartes écoforestières et sur le terrain, et l'évaluation des caractéristiques topographiques sur le terrain. De plus, la dimension des trouées et des parquets et les effets de la préparation de terrain sur les caractéristiques du parterre forestier ont été évalués.

#### 1.2.1.1 Dimension des trouées et parquets

Dans les trouées de CJT, la superficie a été évaluée en utilisant la méthode dite «des latitudes et des départs» (MRN 2003), qui consiste à mesurer la distance et l'azimut de la trajectoire entre chacun des arbres situés au contour des trouées, de façon à recréer un polygone représentant le périmètre de la trouée. La superficie a ensuite été calculée par triangulation. Dans le cas des parquets, bien que la longueur et la largeur aient été évaluées sur le terrain, la superficie des parquets a plutôt été estimée à partir de photographies aériennes (voir section 1.3.1).

### 1.2.1.2 Évaluation de la préparation de terrain

Le type d'équipement utilisé pour la préparation de terrain a été pris en note, de même que le nombre de poquets par placette de 25 m<sup>2</sup>. Un poquet simple était défini comme une surface de 6 m<sup>2</sup> (d'une largeur minimale de 2 m) comportant au moins un microsite scarifié à l'intérieur de la placette, alors qu'un poquet double était défini comme une surface de 10 m<sup>2</sup> (d'une largeur minimale de 2 m) comportant au moins 2 microsites, dont au moins un devait se trouver dans la placette. Un microsite scarifié était défini comme une surface de 1 m<sup>2</sup> de sol scarifié (avec sol minéral mis à nu ou mélange de sol minéral et de sol organique). Le nombre de microsites scarifiés par placette de 25 m<sup>2</sup> a aussi été pris en note.

Le pourcentage de recouvrement de différents types de lits de germination a été évalué séparément dans chaque quadrat de 2,5 m x 2,5 m. Les substrats suivants étaient pris en compte : 1) litière de feuilles non décomposées, 2) litière perturbée (mélange d'humus et de sol minéral), 3) sol minéral, 4) roche, 5) roc (assise rocheuse), 6) bois décomposé (d'un diamètre supérieur à 2 cm et dans un état de décomposition suffisant pour permettre la germination d'une semence), 7) bois sain, 8) souche, 9) mousses et sphaignes et 10) eau.

## 1.2.2 Prise de mesures 2 ans après coupe

### 1.2.2.1 Dénombrement

Le nombre de semis a été évalué pour chacune des essences commerciales. Un dénombrement partiel s'est fait dans chaque quadrat, par le décompte des semis à l'unité près jusqu'à 10. Lorsque le nombre de semis était supérieur à 10, la mention «plus de 10» était prise en note. Pour chacune des essences commerciales, le nombre de gaules a été répertorié par classe de 2 cm de dhp.

### 1.2.2.2 Recouvrement

Le pourcentage de recouvrement a été évalué par quadrat pour les herbacées (HES), les graminoides (graminées et carex, GRS), les sphaignes (SPS), les mousses (MOS, incluant à la fois les mousses et les hépatiques), et les essences non commerciales suivantes : AME, COC, ERE, ERP, PRP, PRV, RUI, SAL, SAP, SOA, TAC et VIL. L'annexe fournit la liste des noms complets d'espèces. Le recouvrement des autres essences non commerciales était évalué dans son ensemble.

## 1.2.3 Prise de mesures 5 ans après coupe

### 1.2.3.1 Dénombrement

Pour ce mesurage, 2 classes de taille de semis ont été considérées : les semis de moins de 1 m

de hauteur et les semis de 1 m et plus. Un dénombrement partiel était effectué pour les semis de moins de 1 m (c.-à-d. dénombrement jusqu'à 10, puis mention «plus de 10»). Un dénombrement complet a toutefois été effectué pour les semis de 1 m et plus ainsi que pour les gaules (par classe de 2 cm de dhp). Tout comme pour le mesurage 2 ans après coupe, l'abondance de toutes les essences commerciales a été déterminée. Toutefois, plusieurs essences non commerciales dont l'abondance avait été évaluée en recouvrement 2 ans après coupe ont été dénombrées au mesurage effectué 5 ans après coupe (AME, COC, ERE, ERP, PRP, PRV, SAL, SAP, SOA et TAC) puisqu'à ce stade, la densité permet mieux que le recouvrement d'évaluer la concurrence exercée sur les essences désirées.

### 1.2.3.2 Recouvrement

Le pourcentage de recouvrement a été évalué dans chaque quadrat pour les HES, les GRS, les SPS, les MOS, les essences non commerciales RUI et VIL, ainsi que pour les autres essences non commerciales.

## 1.3 Traitement et analyse des données

### 1.3.1 Évaluation de la superficie des parquets à partir de photographies aériennes

La superficie des parquets a été évaluée à partir de photographies aériennes à l'aide du système d'information géographique ArcMap 9.0. Pour ce faire, les photographies aériennes effectuées le plus tôt possible après la coupe ont été utilisées. Le pourtour de chaque parquet a été tracé à l'interface entre la cime des arbres de bordure et la zone ouverte du parquet. Le périmètre et l'aire de ce polygone ont été calculés avec l'outil «GSF» de ArcMap. Cette méthode de calcul n'a cependant pas pu être utilisée pour deux parquets pour lesquels les photographies aériennes les plus récentes disponibles au moment des analyses avaient été prises *avant* la création des parquets. Dans ces deux cas, la superficie a été estimée à partir des longueurs et largeurs mesurées sur le terrain, en supposant que le parquet avait une forme rectangulaire.

### 1.3.2 Attribution des groupes de production prioritaire

Pour chacun des secteurs de coupe de CJT et de CJP, les groupements d'essences cartographique et observé étaient disponibles, tout comme le type écologique. En complément, nous avons utilisé des données d'inventaire d'intervention (avant coupe si disponibles, sinon après coupe) fournies par les unités de gestion. Les données étaient généralement issues de placettes à rayon variable (prisme de facteur 2), mais parfois de placettes à rayon fixe

(11,28 m). Toutes ces sources d'information ont été prises en compte pour associer chaque grappe de trouées et chaque parquet à un des deux GPP identifiés, soit BOU et RBOUF. Les grappes de trouées et les parquets étaient répartis entre les GPP (Tableau 2).

### 1.3.3 Analyses statistiques

#### 1.3.3.1 Généralités

Pour la majorité des variables d'intérêt (et à moins de mention contraire dans le texte), les analyses statistiques ont été effectuées sur les valeurs moyennes par grappe (ex. : moyenne pour l'ensemble des placettes de l'ensemble des trouées d'une même grappe). Cette échelle a été choisie pour deux raisons. D'une part, dans le cas des coefficients de distribution, il était nécessaire de considérer simultanément un certain nombre de placettes pour pouvoir calculer le pourcentage d'entre elles qui étaient « stockées » (c.-à-d. dans lesquelles on notait la présence de régénération d'une essence ou d'un groupe d'essences donné). D'autre part, l'utilisation de valeurs moyennes par grappe nous permet de caractériser plus globalement les effets des traitements sylvicoles appliqués dans un secteur de coupe.

Afin de déterminer les effets de certains facteurs tels que la méthode de préparation de terrain, le traitement (CJT vs CJP) et le GPP sur les variables mesurées, des analyses de la variance (ANOVA) ont été effectuées. Pour chacune d'entre elles, les hypothèses de normalité et d'homogénéité des variances ont été vérifiées. Dans certains cas, une transformation de la variable a été effectuée afin de normaliser les résidus et stabiliser leur variance.

Les tests sur les effets fixes ont été faits au seuil théorique de 5 %. Lorsqu'un effet était significatif, des comparaisons multiples des moyennes ont été effectuées afin de déterminer où se situaient les différences. Dans le cas où une interaction était significative, un des facteurs était maintenu fixe pour comparer les niveaux de l'autre facteur à l'aide de comparaisons multiples. Les seuils des comparaisons multiples ont été ajustés avec une méthode basée sur des simulations, disponible dans SAS (version 9.2, SAS Institute Inc. 2010) pour détecter les différences significatives entre les moyennes (Westfall et al. 1999). Cette procédure permet d'ajuster seulement les comparaisons d'intérêt.

À moins de mention contraire, tout au long du texte ainsi que dans les tableaux, les moyennes observées sont présentées accompagnées de leur erreur type. De plus, les graphiques illustrent les moyennes observées et leur erreur type, même

si les tests statistiques ont été effectués sur des moyennes ajustées et, dans certains cas, sur des valeurs transformées.

#### 1.3.3.2 Poquets, microsites et lits de germination

Les effets du traitement (CJT vs CJP), de la méthode de préparation de terrain et de leur interaction sur 1) le nombre de poquets à l'hectare, 2) le nombre de microsites propices à l'hectare et 3) la proportion combinée de sol minéral et litière perturbée ont été testés. La proportion de chacun des types de lit de germination (individuellement) a aussi fait l'objet d'ANOVA.

#### 1.3.3.3 Coefficients de distribution

Les données de dénombrement récoltées 2 et 5 ans après coupe ont été utilisées pour calculer les coefficients de distribution. Ceux-ci étaient calculés comme le pourcentage des placettes (de 25 m<sup>2</sup>) d'une grappe de trouées ou d'un parquet, dans lesquelles était présent au moins un individu de l'essence (ou groupe d'essences) en question, dans la classe de taille spécifiée. Les coefficients de distribution ont été calculés pour les essences objectifs (bouleaux et résineux), ainsi que pour les essences commerciales, prises dans leur ensemble et individuellement.

Lors d'analyses préliminaires, des valeurs de coefficient de distribution 2 ans après coupe ont été calculées pour les semis seulement, les gaules seulement ainsi que pour l'ensemble des semis et gaules. Pour le mesurage effectué 5 ans après coupe, des valeurs de coefficient de distribution ont été calculées pour les semis de moins de 1 m, pour les semis de 1 m et plus et pour les gaules séparément, ainsi que pour différentes combinaisons de ces classes de taille. Toutefois, afin d'alléger la présentation des résultats, nous n'avons généralement présenté qu'un seul type de coefficient de distribution. Par exemple, 2 ans après coupe, nous avons présenté les coefficients de distribution des semis et des gaules combinés, les gaules ne contribuant généralement pas, ou très peu, à la valeur des coefficients de distribution présentés pour ce mesurage. Pour ce qui est des résultats 5 ans après coupe, nous avons présenté les résultats concernant l'ensemble des semis de moins de 1 m, des semis de 1 m et plus et des gaules combinés.

Nous avons testé l'effet du traitement (CJT vs CJP), du GPP (BOU vs RBOUF) et de leur interaction sur les coefficients de distribution des essences objectifs (bouleaux et résineux), des essences commerciales dans leur ensemble et des principales essences commerciales prises individuellement.

### 1.3.3.3.1 Autres méthodes de calcul des coefficients de distribution

La méthode d'évaluation des coefficients de distribution décrite dans la section précédente est celle qui correspond le plus aux notions de coefficient de distribution et de régénération naturelle définies dans les Instructions relatives (ex. : MRN 2000, 2002). Toutefois, comme il en sera question dans la discussion, l'utilisation de placettes plus petites ainsi que la prise en compte de critères supplémentaires (ex. : atteinte d'une hauteur minimale plus élevée, présence de plus d'un individu par placette) peuvent avoir un effet sur les valeurs de coefficient de distribution qui sont obtenues. Pour ces raisons, nous avons évalué les coefficients de distribution obtenus 5 ans après coupe de 2 façons supplémentaires, décrites ci-après.

#### 1.3.3.3.1.1 Utilisation de placettes plus petites

Puisque les données récoltées sur le terrain ont été prises séparément pour chacun des 4 quadrats de chaque placette, il nous a été possible d'évaluer la présence d'au moins un individu (semis ou gaule) dans chacun des quadrats, et ainsi, de calculer un coefficient de distribution par parquet ou grappe de trouées, défini comme le pourcentage des quadrats (de 6,25 m<sup>2</sup>) avec présence d'un individu d'une essence ou d'un groupe d'essences donné. Les coefficients de distribution calculés de cette façon ont été comparés à ceux obtenus par placette de 25 m<sup>2</sup> pour les CJT et les CJP, 5 ans après coupe pour les bouleaux, les résineux et l'ensemble des essences commerciales. Nous avons aussi évalué la proportion des grappes de trouées et des parquets qui rencontraient les critères d'évaluation du MAF, lorsque les coefficients de distribution étaient calculés à partir des quadrats de 6,25 m<sup>2</sup> plutôt qu'à partir des placettes de 25 m<sup>2</sup>.

#### 1.3.3.3.1.2 Hausse du nombre minimal d'individus requis pour qu'une placette soit considérée comme stockée

Marquis (1987) discute des chances qu'une placette considérée comme stockée quelques années après coupe le soit toujours lorsque le peuplement a atteint le stade visé de développement. Il mentionne à ce sujet que les chances que la placette demeure stockée sont plus élevées si, au départ, la placette est stockée avec des individus bien établis et présents en plus grand nombre. En nous basant sur de telles considérations, nous avons également calculé les coefficients de distribution 5 ans après coupe en ne tenant compte que des semis de 1 m et plus et des gaules, ainsi qu'en exigeant la présence d'un nombre minimal d'individus variant de 1 à 30 pour qu'une placette soit

considérée comme stockée. Ces calculs ont été faits pour les bouleaux, les résineux et l'ensemble des essences commerciales. Nous avons investigué l'effet d'une hausse des exigences à rencontrer pour qu'une placette soit considérée comme stockée sur les coefficients de distribution moyens de ces groupes d'essences. Nous en avons aussi évalué les répercussions sur la proportion des grappes de trouées et de parquets rencontrant les critères d'évaluation du MAF.

#### 1.3.3.4 Recouvrement

À l'origine, les valeurs de recouvrement étaient exprimées en classes (ex. : 5-10 %). Afin de faciliter le traitement statistique de ces valeurs, nous avons assigné à chacune des classes sa valeur médiane. Par exemple, un recouvrement de 7,5 % était assigné pour la classe de recouvrement 5-10 %. Sur le terrain, les recouvrements ont été évalués par quadrat. Une fois les classes de recouvrement remplacées par leur valeur médiane, nous avons calculé le recouvrement moyen de chaque essence par placette de 25 m<sup>2</sup>, puis par grappe. Nous avons testé l'effet du traitement (CJT vs CJP), du GPP (BOU vs RBOUF) et de leur interaction sur le pourcentage de recouvrement des principales essences non commerciales.

#### 1.3.3.5 Densité

Les données de densité 5 ans après coupe ont été calculées en tenant compte de l'ensemble des semis de 1 m et plus et des gaules, puisque les semis de moins de 1 m n'avaient été dénombrés que partiellement. Une transformation logarithmique a été effectuée sur la densité afin de normaliser les résidus et stabiliser leur variance. Les ANOVA testant l'effet du traitement, du GPP et de leur interaction ont été effectuées pour les essences principales objectif (bouleaux et résineux), pour les essences commerciales prises dans leur ensemble et pour les principales essences commerciales et non commerciales prises individuellement.

#### 1.3.3.6 Évaluation des facteurs influençant le succès de régénération du bouleau jaune

Afin d'identifier les facteurs qui influençaient le succès de régénération du bouleau jaune, la principale essence objectif rencontrée, nous avons testé l'effet de 11 facteurs : le traitement (CJT vs CJP), la superficie des trouées et parquets, le GPP, le pourcentage de surface terrière en bouleau jaune après coupe dans le peuplement environnant, le type de préparation de terrain, la densité des poquets, la densité de microsites propices, le pourcentage de recouvrement de sol minéral, le pourcentage combiné de sol minéral et de litière perturbée,

le pourcentage de recouvrement du framboisier (*Rubus idaeus* L.) 5 ans après coupe et la densité des semis de 1 m et plus et des gaules de cerisier de Pennsylvanie (*Prunus pensylvanica* L. f.) 5 ans après coupe. Le succès de régénération du bouleau

jaune a été évalué par son coefficient de distribution (semis et gaules) et sa densité (semis de 1 m et plus et gaules) 5 ans après coupe. Les effets individuels de chaque facteur sur les 2 variables d'intérêt ont été évalués par régression linéaire simple.



# Chapitre deux

## Résultats

### 2.1 Portrait des secteurs de coupe étudiés

#### 2.1.1 Caractéristiques des strates traitées

La répartition des grappes de trouées et des parquets par région administrative, région écologique et année d'établissement a été décrite au tableau 2. Concernant la répartition des grappes de trouées et des parquets par GPP, on notera qu'une majorité de parquets étaient associés à un GPP RBOUF. Par contre, la répartition des grappes de trouées était plus équilibrée entre les GPP BOU et RBOUF (Tableau 2). En ce qui concerne les caractéristiques des peuplements traités, notons les points suivants : Les types écologiques les plus fréquemment rencontrés dans les grappes de trouées et parquets étaient, en ordre décroissant de fréquence : MJ12 (35,8 % des grappes), FE32 (29,7 %) et MJ22 (22,3 %)\*. Les groupements d'essences cartographiques les plus fréquemment rencontrés étaient les bétulaies à bouleaux jaunes avec érables (26,4 %), les érablières à érables à sucre ou érables rouges avec bouleaux jaunes (19,6 %) et les bétulaies à bouleaux jaunes avec résineux (10,8 %).

La plupart des grappes étaient dans des peuplements feuillus (44,6 %) ou mixtes à dominance de feuillus (45,3 %). Parmi les secteurs traités en CJT, 51,7 % des grappes étaient dans des peuplements feuillus. Dans les secteurs traités en CJP, on retrouvait moins de peuplements feuillus (18,8 %) mais davantage de peuplements mixtes à dominance de feuillus (59,4 %), ou mixtes à dominance de résineux (18,8 %).

Le pourcentage de la surface terrière avant coupe constituée de bouleau jaune variait de 7,6 à 88,9 %, avec une moyenne de  $35,8 \pm 1,5$  % pour l'ensemble des secteurs. Le pourcentage de surface terrière du bouleau jaune avant coupe ne variait pas beaucoup entre les secteurs traités en CJT ( $34,9 \pm 1,7$  %) et ceux traités en CJP ( $38,7 \pm 3,1$  %), pas plus qu'entre les secteurs qui ont été associés à un GPP BOU ( $37,0 \pm 2,5$  %) ou RBOUF ( $34,7 \pm 1,6$  %).

\* MJ12 : bétulaie jaune à sapin et érable à sucre sur dépôt de mince à épais, de texture moyenne et de drainage mésique; FE32 : érablière à bouleau jaune sur dépôt de mince à épais, de texture moyenne et de drainage mésique; MJ22 : bétulaie jaune à sapin sur dépôt de mince à épais, de texture moyenne et de drainage mésique.

#### 2.1.2 Dimensions des trouées et des parquets

La superficie des trouées variait de 382 à 1 841 m<sup>2</sup> ( $1\ 027 \pm 30$  m<sup>2</sup>) (Figure 3a). Dans 89,7 % des trouées échantillonnées, la superficie était comprise dans l'intervalle recommandé au MAF (soit de 500 m<sup>2</sup> à 1 500 m<sup>2</sup>). La superficie des parquets échantillonnés variait de 4 296 à 26 754 m<sup>2</sup> ( $15\ 021 \pm 995$  m<sup>2</sup>) (Figure 3b). La superficie de seulement 59,4 % des parquets étaient comprise dans l'intervalle recommandé au MAF (soit de 1 à 2 ha). Vingt-cinq pourcent (25,0 %) de ceux-ci avaient une superficie inférieure à 1 ha, alors que 15,6 % avaient une superficie supérieure à 2 ha (Figure 3b).

### 2.2 Préparation de terrain

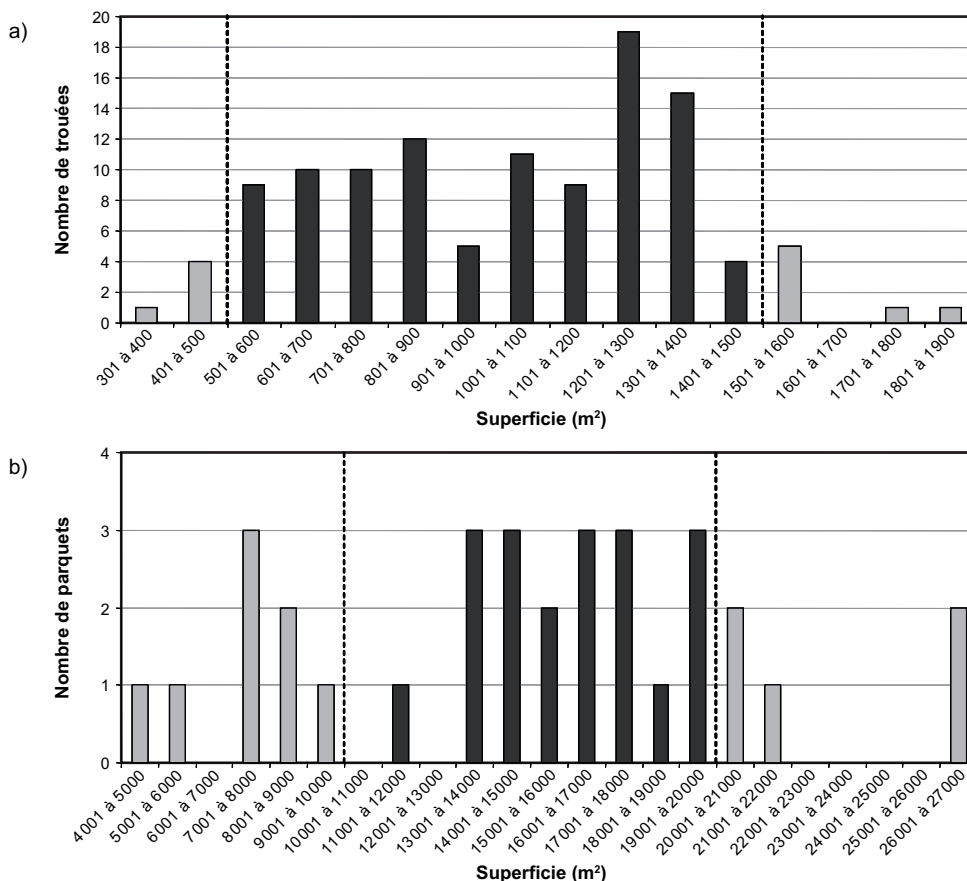
#### 2.2.1 Types de préparation de terrain

Trois types de préparation de terrain ont été utilisés, soit le déblaiement à l'aide d'une débuseuse munie d'une lame râteau, le déblaiement avec une débuseuse munie d'une lame standard et le scarifiage partiel à l'aide d'une excavatrice sur chenilles munie d'un godet standard. Dans les trouées de CJT, le déblaiement à l'aide d'une débuseuse munie d'une lame standard était la méthode la plus couramment utilisée alors que dans les parquets, le scarifiage partiel à l'aide d'une excavatrice était la méthode la plus courante (Figure 4).

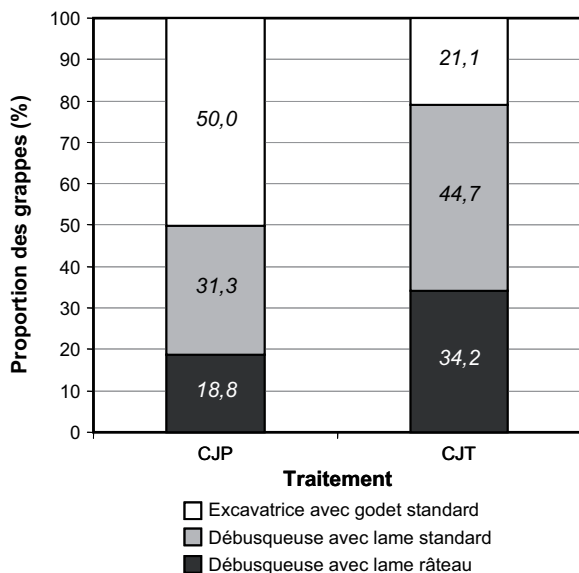
#### 2.2.2 Poquets

##### 2.2.2.1 Résultats obtenus par rapport aux critères d'évaluation

Seule une faible proportion des grappes de trouées et des parquets comportaient suffisamment de poquets à l'hectare selon les critères d'évaluation du MRN (Tableau 1a, Figure 5). Dans les CJT, seulement 32 % des grappes comportaient 200 poquets/ha ou plus (Figure 5), et seulement 34 % en comportaient plus du nombre minimal visé, soit 150 poquets/ha. En moyenne pour l'ensemble des grappes de trouées, la densité de poquets était de 154 poquets/ha. Toutefois, 50 % des grappes de trouées ne comportaient aucun poquet. Parmi les parquets étudiés, seulement 34 % comportaient 400 poquets/ha ou plus, alors que 41 % en comportaient plus du nombre minimal visé, soit 300 poquets/ha. En moyenne, la densité des



**Figure 3.** Distribution de fréquence de la superficie a) des trouées de CJT et b) des parquets de CJP. Les lignes verticales en pointillé indiquent, pour chaque traitement, les limites inférieures et supérieures de l'intervalle des superficies spécifié au MAF.



**Figure 4.** Répartition des grappes selon le type de préparation de terrain reçue, pour chacun des deux traitements étudiés.

poquets dans les CJP était de 257/ha. Toutefois, 22 % des parquets ne comprenaient aucun poquet (Figure 5).

### 2.2.2.2 Effet du traitement sylvicole et de la méthode de préparation de terrain

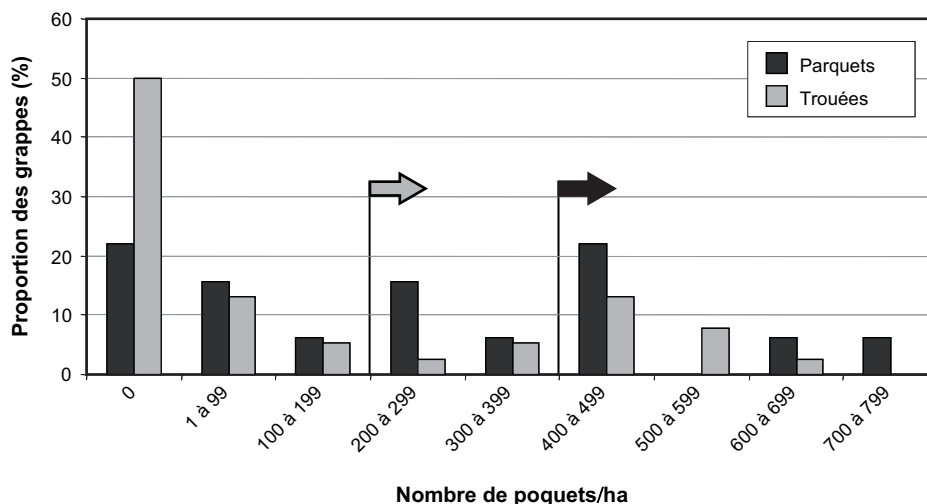
Le nombre moyen de poquets par hectare ne variait pas de façon significative entre les CJT et les CJP ( $p = 0,8541$ ), mais plutôt selon la méthode de préparation de terrain utilisée ( $p < 0,0001$ ) (Figure 6a). L'excavatrice munie d'un godet standard générait le plus de poquets, suivie par la débuseuse munie d'une lame standard. Tel qu'attendu, la débuseuse munie d'une lame râteau ne créait pratiquement pas de poquets (Figure 6a).

### 2.2.3 Microsites propices

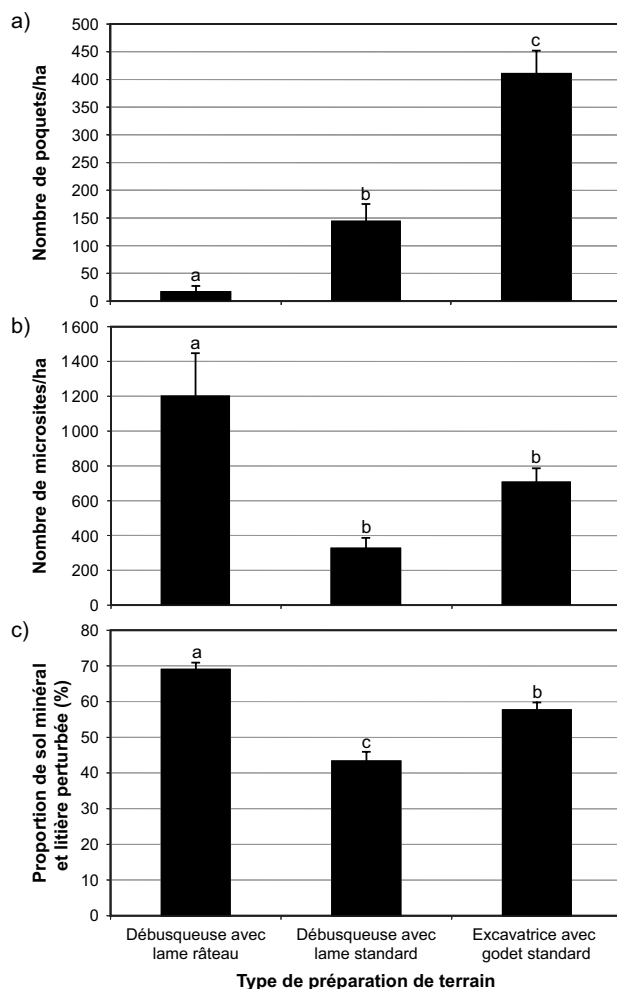
#### 2.2.3.1 Résultats obtenus par rapport aux critères d'évaluation

Une proportion plus grande des grappes de trouées et des parquets rencontraient les objectifs visés (Tableau 1a) quand les microsites scarifiés étaient considérés plutôt que les poquets. En effet,





**Figure 5.** Répartition des grappes de trouées et de parquets selon la densité moyenne de poquets qui y a été mesurée. La flèche grise illustre le seuil de 200 poquets/ha qui devrait être visé dans les trouées ; la flèche noire indique le seuil de 400 poquets/ha qui devrait être visé dans les parquets.



**Figure 6.** Effet du type de préparation de terrain sur a) le nombre moyen de poquets par hectare, b) le nombre moyen de microsites propices par hectare, et c) la proportion de sol minéral et de litière perturbée. Les moyennes ( $\pm 1$  erreur type) associées à des lettres différentes sont significativement différentes les unes des autres.

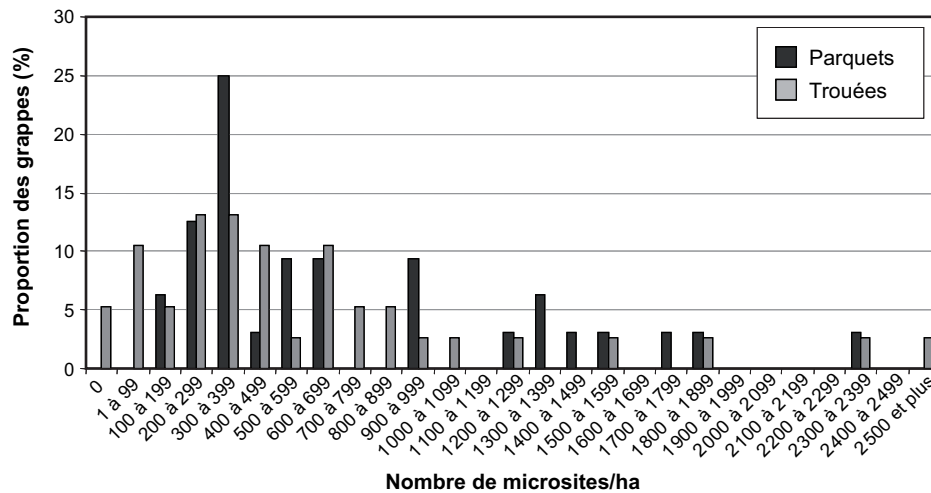
79 % des grappes de trouées comportaient au moins 200 microsites/ha, alors que 84 % comportaient au moins 150 microsites/ha (Figure 7). Parmi les parquets étudiés, 56 % comportaient au moins 400 microsites/ha, alors que 81 % en comportaient au moins 300 microsites/ha. Il y avait en moyenne 651 microsites scarifiés par hectare dans les trouées, et 743 par hectare dans les parquets.

### 2.2.3.2 Effet du traitement sylvicole et de la méthode de préparation de terrain

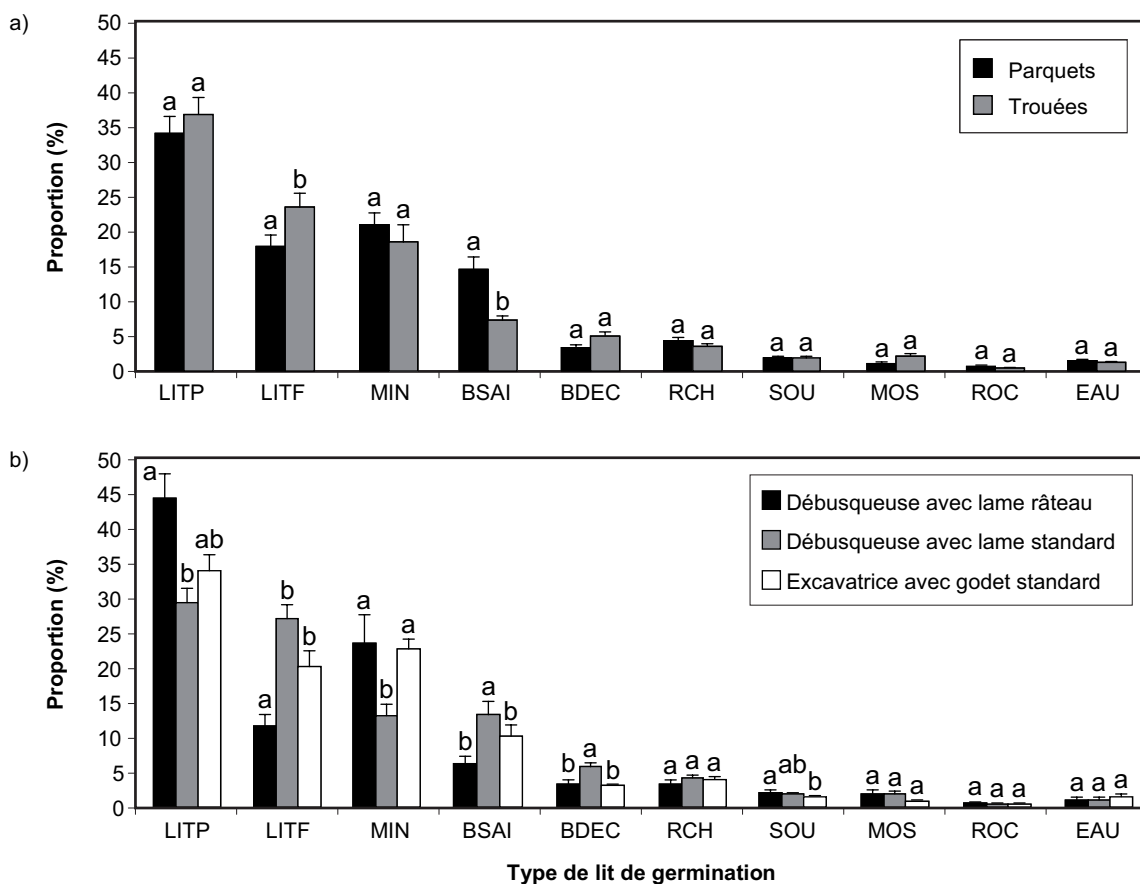
Le nombre moyen de microsites par hectare ne variait pas de façon significative entre les CJT et les CJP ( $p = 0,3561$ ), mais variait en fonction de la méthode de préparation de terrain utilisée ( $p < 0,0001$ ) (Figure 6b). Les microsites générés avec une débusqueuse munie d'une lame rateau étaient plus nombreux (près de 1200 par hectare), que ceux générés avec les 2 autres méthodes de préparation de terrain.

### 2.2.4 Recouvrement des différents types de lits de germination

Globalement, la litière perturbée était le lit de germination le plus fréquent, avec des recouvrements moyens de 30 à 45 %, selon le traitement sylvicole et le type de préparation de terrain (Figure 8). Le sol minéral et la litière de feuilles suivent avec des recouvrements variant de 12 à 28 % selon le traitement et le type de préparation de terrain. Le bois sain suivait en importance, avec des proportions variant de 6 à 14 %. Le bois décomposé et la roche venaient ensuite avec des recouvrements de 3 à 6 %. Les autres substrats (souches, mousse, roc, eau) n'étaient présents qu'en très faibles proportions ( $< 2$  %).



**Figure 7.** Répartition des grappes de trouées et de parquets selon la densité moyenne de microsites propices qui y a été mesurée.



**Figure 8.** Proportion des différents types de lit de germination (moyennes  $\pm$  1 erreur type des valeurs par grappe) en fonction a) du traitement et b) de la méthode de préparation de terrain. Pour un même lit de germination, des lettres différentes indiquent des moyennes significativement différentes. LITP : litière perturbée; LITF : litière feuillue; MIN : sol minéral; BSAI : bois sain; BDEC : bois décomposé; RCH : roche; SOU : souche et MOS : mousse.

Les effets du traitement sylvicole et de la méthode de préparation de terrain sur la proportion de chacun des types de lits de germination ont été testés à l'aide d'ANOVA. L'interaction entre ces deux facteurs ne s'est pas avérée significative ( $p \geq 0,0628$  selon le type de lit de germination). Les effets du traitement et de la méthode de préparation de terrain seront donc présentés séparément ci-dessous.

Des différences entre les trouées de CJT et les parquets de CJP ont été observées pour 2 des 10 lits de germination, soit la litière de feuilles ( $p = 0,0238$ ), qui était présente en plus forte proportion dans les trouées que dans les parquets, et le bois sain ( $p = 0,0003$ ), qui était présent en plus forte proportion dans les parquets que dans les trouées (Figure 8a).

La proportion de 6 des 10 lits de germination a été significativement influencée par le type de préparation de terrain (Figure 8b). La débuseuse munie d'une lame râteau a laissé une plus faible proportion de litière de feuilles que les deux autres types d'équipement ( $p < 0,0001$ ). La proportion de litière perturbée variait aussi selon le type de préparation de terrain ( $p = 0,0014$ ), la débuseuse avec lame râteau étant associée à une plus forte proportion de litière perturbée que la débuseuse munie d'une lame standard. La proportion de litière perturbée créée avec l'excavatrice se situait entre les deux autres valeurs. La proportion de sol minéral variait aussi selon la méthode de préparation de terrain ( $p = 0,0168$ ). En effet, l'utilisation de la débuseuse munie d'une lame standard était associée à une plus faible proportion de sol minéral que les deux autres méthodes de préparation de terrain. Finalement, les proportions de bois décomposé et de bois sain associées à l'utilisation d'une débuseuse munie d'une lame standard étaient supérieures à celles observées avec les deux autres méthodes de préparation de terrain.

Le sol minéral de même que la litière perturbée sont deux lits de germination recherchés pour favoriser la germination d'essences comme le bouleau jaune. Nous avons donc également illustré comment la proportion combinée de ces deux lits de germination variait en fonction de la méthode de préparation de terrain (Figure 6c). Cette proportion ne variait pas de façon significative entre les CJT et les CJP ( $p = 0,8052$ ), mais plutôt en fonction de la méthode de préparation de terrain ( $p < 0,0001$ ). La débuseuse avec lame râteau générait la plus grande proportion de ces deux substrats combinés.

## 2.3 Portrait 2 ans après coupe

### 2.3.1 Coefficients de distribution

#### 2.3.1.1 Essences principales objectifs

Deux ans après coupe, les coefficients de distribution des bouleaux étaient élevés dans toutes les grappes de trouées et dans tous les parquets, avec une valeur moyenne de 97 % (Tableau 3). La valeur la plus faible observée pour les bouleaux était de 80 % dans les CJT et de 78 % dans les CJP (données non présentées), ce qui est largement supérieur aux valeurs minimales attendues 2 ans après coupe (Tableau 1b). Le coefficient de distribution des bouleaux ne variait toutefois ni en fonction du traitement, ni en fonction du GPP (Tableau 3).

Les coefficients de distribution des essences résineuses étaient généralement plus variables que ceux des bouleaux. De plus, aucune différence significative n'a été détectée en fonction du traitement ou du GPP (Tableau 3). Dans les secteurs associés à un GPP RBOUF, les coefficients de distribution des résineux variaient de 25 à 100 % dans les CJT et de 5 à 100 % dans les CJP (données non présentées). Dans ces mêmes secteurs, 94 et 81 % des grappes de trouées et parquets, respectivement, avaient un coefficient de distribution supérieur ou égal aux valeurs attendues (données non présentées).

#### 2.3.1.2 Essences commerciales

Deux ans après coupe, le coefficient de distribution de l'ensemble des essences commerciales était supérieur à 95 % dans tous les secteurs (données non présentées), et donc largement supérieur au seuil minimal de 80 % (Tableau 1c). De plus, aucune différence significative n'a été observée en fonction du traitement ou du GPP (Tableau 3).

À titre indicatif, les coefficients de distribution des 7 principales essences commerciales, soit celles présentes dans plus de 50 % des grappes, sont présentés au tableau 3. On notera que le bouleau jaune avait les coefficients de distribution les plus élevés, mais que ces valeurs ne variaient pas significativement entre les traitements.

### 2.3.2 Recouvrement des essences non commerciales

Les essences non commerciales ayant les recouvrements les plus importants sont présentées en ordre décroissant de recouvrement moyen au tableau 4. On notera que le framboisier avait un recouvrement nettement supérieur à celui des autres essences. Celles-ci incluent le cerisier de Pennsylvanie, l'érable à épis et la viorne à feuilles d'aulne. D'autres essences non commerciales ont

**Tableau 3.** Coefficient de distribution (en %) des semis et des gaules, 2 ans après coupe, pour les essences objectives et les principales essences commerciales, considérées ensemble ou individuellement. La moyenne générale est suivie des moyennes par traitement, par GPP et par combinaison de traitement et de GPP (moyenne observée  $\pm$  1 erreur type), puis des probabilités associées aux différents effets ( $P_{\text{traitement}}$ ,  $P_{\text{GPP}}$  et  $P_{\text{interaction}}$ ). Les moyennes d'intérêt et les valeurs de P correspondant aux effets significatifs, le cas échéant, apparaissent en caractères gras. Les abréviations des noms d'espèces sont définies à l'annexe 1.

	Moyennes par traitement (%)			Moyennes par GPP (%)			Moyennes par combinaison traitement-GPP (interaction, en %)				$P_{\text{interaction}}$
	CJP	CJT	$P_{\text{traitement}}$	BOU	RBOUF	$P_{\text{GPP}}$	CJPxBOU	CJPxRBOUF	CJTxBOU	CJTxRBOUF	
<i>Essences objectives</i>											
Bouleaux	97,2 $\pm$ 1,0	96,9 $\pm$ 0,9	0,7755	97,5 $\pm$ 1,0	96,8 $\pm$ 0,8	0,6071	97,6 $\pm$ 2,4	97,1 $\pm$ 1,1	97,4 $\pm$ 1,1	96,4 $\pm$ 1,3	0,8811
Résineux	75,3 $\pm$ 4,2	60,8 $\pm$ 4,6	0,0509	58,3 $\pm$ 5,6	73,2 $\pm$ 3,8	0,2998	77,5 $\pm$ 5,7	74,8 $\pm$ 5,0	52,8 $\pm$ 6,6	70,6 $\pm$ 5,7	0,1639
<i>Essences commerciales</i>											
Toutes	99,6 $\pm$ 0,2	99,9 $\pm$ 0,1	0,6741	100,0 $\pm$ 0,0	99,6 $\pm$ 0,2	0,1456	100,0 $\pm$ 0,0	99,6 $\pm$ 0,2	100,0 $\pm$ 0,0	99,8 $\pm$ 0,2	0,6741
BOJ	95,9 $\pm$ 1,4	93,3 $\pm$ 1,9	0,2650	94,4 $\pm$ 2,2	94,6 $\pm$ 1,5	0,6710	97,6 $\pm$ 2,4	95,5 $\pm$ 1,7	93,5 $\pm$ 2,7	93,1 $\pm$ 2,8	0,7695
ERR	68,3 $\pm$ 4,7	67,8 $\pm$ 5,4	0,5263	69,6 $\pm$ 6,2	67,1 $\pm$ 4,5	0,4605	81,7 $\pm$ 8,5	65,3 $\pm$ 5,3	66,2 $\pm$ 7,5	69,8 $\pm$ 8,1	0,2450
ERS	56,6 $\pm$ 4,5	<b>42,8 <math>\pm</math> 6,3</b>	<b>0, 0120</b>	63,8 $\pm$ 7,6	52,1 $\pm$ 5,4	0,9011	41,2 $\pm$ 13,5	43,2 $\pm$ 7,2	70,2 $\pm$ 8,6	65,7 $\pm$ 7,2	0,7423
PEU	54,0 $\pm$ 3,6	55,6 $\pm$ 5,0	0,6753	53,5 $\pm$ 6,2	54,3 $\pm$ 4,4	0,9196	57,3 $\pm$ 12,3	55,1 $\pm$ 5,5	52,4 $\pm$ 7,2	52,9 $\pm$ 7,3	0,8766
SAB	52,2 $\pm$ 3,2	56,3 $\pm$ 4,3	0,0964	47,2 $\pm$ 5,5	55,4 $\pm$ 3,9	0,9550	<b>71,0 <math>\pm</math> 6,8</b>	<b>53,0 <math>\pm</math> 4,9</b>	<b>40,4 <math>\pm</math> 6,1</b>	<b>59,2 <math>\pm</math> 6,7</b>	<b>0, 0132*</b>
BOP	51,1 $\pm$ 4,0	53,7 $\pm$ 6,2	0,7918	45,1 $\pm$ 6,5	54,8 $\pm$ 5,1	0,3849	49,1 $\pm$ 13,8	54,7 $\pm$ 7,1	43,9 $\pm$ 7,6	54,9 $\pm$ 7,2	0,7761
EPX	36,0 $\pm$ 3,7	40,9 $\pm$ 5,1	0,9939	<b>24,5 <math>\pm</math> 5,2</b>	<b>43,3 <math>\pm</math> 4,7</b>	<b>0, 0196</b>	19,3 $\pm$ 2,7	45,9 $\pm$ 5,8	26,0 $\pm$ 6,7	39,3 $\pm$ 8,1	0,4308

\* Pour cette interaction significative, les comparaisons des moyennes deux par deux révèlent qu'il n'y a pas de différence significative pour les comparaisons CJPxBOU vs CJTxRBOUF, CJTxBOU vs CJTxRBOUF et CJPxRBOUF vs CJTxRBOUF. Une différence significative est cependant détectée pour la comparaison CJPxBOU vs CJTxBOU.

été observées dans les dispositifs (ex. : l'érable de Pennsylvanie, le sureau pubescent, le noisetier et l'if du Canada) mais celles-ci avaient des recouvrements moyens inférieurs à 1 % et n'ont pas été analysées statistiquement. On notera de plus que les pourcentages de recouvrement du framboisier, des herbacées, des graminées et de la viorne à feuilles d'aulne étaient plus élevés dans les trouées que dans les parquets (Tableau 4). Toutefois, aucun effet de GPP n'a été détecté ( $p \geq 0,5541$ ) pour les espèces non commerciales.

## 2.4 Portrait 5 ans après coupe

### 2.4.1 Coefficients de distribution

#### 2.4.1.1 Coefficients de distribution calculés de façon standard

Cinq ans après coupe, contrairement au mesurage précédent, la distinction a été faite lors de la prise de données entre les semis de moins de 1 m et ceux de 1 m et plus. Afin d'alléger la présentation des résultats et de nous arrimer le mieux possible aux définitions de coefficient de distribution et de régénération naturelle présentées dans les Instructions relatives (ex. : MRN 2000, 2002), nous ne présenterons ici que les coefficients de distribution totaux, c.-à-d. ceux calculés pour l'ensemble des semis et des gaules.

##### 2.4.1.1.1 Essences principales objectifs

Cinq ans après coupe, le coefficient de distribution moyen des bouleaux était supérieur à 90 % (Tableau 5). Dans les grappes de trouées de CJT, le coefficient de distribution des bouleaux variait entre 75 et 100 % (données non présentées), et le seuil minimal attendu (Tableau 1b) a été atteint dans l'ensemble des trouées. Dans les parquets, le coefficient de distribution des bouleaux variait de 50 à

100 % (données non présentées), et le seuil minimal attendu (Tableau 1b) a été atteint dans la majorité (soit 93,5 %) des parquets. En effet, 5 ans après coupe, seulement 2 parquets ne rencontraient pas l'objectif pour les bouleaux.

Les coefficients de distribution des résineux étaient généralement plus variables et plus faibles que ceux des bouleaux (Tableau 5). Dans les secteurs associés à un GPP RBOUF, les coefficients de distribution des résineux variaient de 22 à 100 % dans les CJT et de 10 à 100 % dans les CJP (données non présentées). Dans ces mêmes secteurs, le seuil minimal attendu (Tableau 1b) a quand même été atteint dans la majorité des trouées et des parquets, soit, respectivement, dans 94 et 88 % des grappes (données non présentées).

Pour les bouleaux, une interaction significative a été détectée entre l'effet des traitements et celui des GPP (Tableau 5). Dans les parquets, le coefficient de distribution des bouleaux était plus faible dans les grappes associées à un GPP BOU par rapport à RBOUF, alors qu'une telle différence n'était pas présente dans les trouées. De plus, on note que dans les grappes associées à un GPP BOU, le coefficient de distribution des bouleaux dans les trouées de CJT était supérieur à celui dans les parquets de CJP, alors que la différence entre traitements n'était pas significative dans le GPP RBOUF. Dans le cas des résineux, aucun effet significatif de traitement ou de GPP n'a été détecté.

##### 2.4.1.1.2 Essences commerciales

Cinq ans après coupe, le coefficient de distribution de l'ensemble des essences commerciales était de 98,3 % (Tableau 5). Un seul parquet ne rencontrait pas l'objectif pour les essences commerciales

**Tableau 4.** Pourcentage de recouvrement 2 ans après coupe des principales essences ou groupes d'essences non commerciales (c.-à-d. pour lesquels le recouvrement moyen était supérieur à 1 %), en ordre décroissant de recouvrement moyen. La moyenne générale est suivie des moyennes par traitement et de la probabilité associée à cet effet. L'effet du GPP et de son interaction avec le traitement ont été testés mais ne se sont révélés significatifs dans aucun cas. Les moyennes d'intérêt et les valeurs de P correspondant aux effets significatifs, le cas échéant, apparaissent en caractères gras.

Espèce ou groupe d'espèces	Moyenne générale (%)	Moyennes par traitement (%)		P <sub>traitement</sub>
		CJP	CJT	
Framboisier (RUI)	33,3 ± 1,7	<b>28,0 ± 2,3</b>	<b>37,6 ± 2,2</b>	<b>0,0114</b>
Mousses (MOS)	<b>8,3 ± 1,0</b>	9,5 ± 1,8	7,4 ± 1,0	0,6216
Herbacées (HES)	7,9 ± 0,7	<b>5,5 ± 0,8</b>	<b>10,0 ± 1,1</b>	<b>0,0100</b>
Graminées (GRS)	6,2 ± 0,9	<b>6,1 ± 1,1</b>	<b>6,2 ± 1,3</b>	<b>0,0147</b>
Cerisier de Pennsylvanie (PRP)	<b>5,6 ± 0,7</b>	3,4 ± 0,6	7,5 ± 1,2	1,0000
Érable à épis (ERE)	<b>3,5 ± 0,3</b>	3,7 ± 0,2	3,3 ± 0,5	0,4474
Viorne à feuilles d'aulne (VIL)	1,7 ± 0,5	<b>0,8 ± 0,6</b>	<b>2,4 ± 0,7</b>	<b>0,0143</b>

**Tableau 5.** Coefficient de distribution (en %) des semis et des gaules, 5 ans après coupe, pour les essences objectives et les principales essences commerciales, considérées ensemble ou individuellement. La moyenne générale est suivie des moyennes par traitement, par GPP et par combinaison de traitement et de GPP (moyenne observée  $\pm$  1 erreur type), puis des probabilités associées aux différents effets ( $P_{\text{traitement}}$ ,  $P_{\text{GPP}}$  et  $P_{\text{interaction}}$ ). Les moyennes d'intérêt et les valeurs de P correspondant aux effets significatifs, le cas échéant, apparaissent en caractères gras. Les abréviations des noms d'espèces sont définies à l'annexe 1.

	Moyennes par traitement (%)			Moyennes par GPP (%)			Moyennes par combinaison traitement-GPP (interaction, en %)						P <sub>interaction</sub>
	CJP	CJT	P <sub>traitement</sub>	BOU	RBOUF	P <sub>GPP</sub>	CJPxBOU	CJPxRBOUF	CJTxBOU	CJTxBOU	CJTxBOU	CJTxBOU	
<i>Essences objectives</i>													
Bouleaux	92,7 $\pm$ 1,2	91,7 $\pm$ 2,2	93,6 $\pm$ 1,3	92,0 $\pm$ 2,3	93,2 $\pm$ 1,3	0,0769	81,6 $\pm$ 8,5	93,6 $\pm$ 1,9	94,5 $\pm$ 1,8	92,6 $\pm$ 1,8	92,6 $\pm$ 1,8	0,0160 *	
Résineux	<b>73,6 <math>\pm</math> 3,1</b>	81,7 $\pm$ 3,8	67,0 $\pm$ 4,5	62,8 $\pm$ 5,7	80,2 $\pm$ 3,3	0,1379	78,4 $\pm$ 9,4	82,3 $\pm$ 4,2	59,1 $\pm$ 6,6	76,8 $\pm$ 5,3	76,8 $\pm$ 5,3	0,3398	
<i>Essences commerciales</i>													
Toutes	98,3 $\pm$ 0,7	<b>96,3 <math>\pm</math> 1,5</b>	<b>99,9 <math>\pm</math> 0,1</b>	98,6 $\pm$ 0,9	98,2 $\pm$ 1,0	0,2004	92,5 $\pm$ 3,9	97,0 $\pm$ 1,7	100,0 $\pm$ 0,0	99,8 $\pm$ 0,2	99,8 $\pm$ 0,2	0,1691	
BOJ	<b>89,5 <math>\pm</math> 1,6</b>	88,1 $\pm$ 2,7	90,6 $\pm$ 2,0	88,6 $\pm$ 3,1	90,0 $\pm$ 1,8	0,2073	79,2 $\pm$ 9,9	89,8 $\pm$ 2,6	90,8 $\pm$ 3,0	90,3 $\pm$ 2,4	90,3 $\pm$ 2,4	0,1649	
ERR	<b>68,1 <math>\pm</math> 3,5</b>	67,1 $\pm$ 3,9	68,9 $\pm$ 5,6	68,4 $\pm$ 6,8	67,9 $\pm$ 4,0	0,9875	68,2 $\pm$ 11,7	66,9 $\pm$ 4,2	68,5 $\pm$ 8,1	69,5 $\pm$ 7,9	69,5 $\pm$ 7,9	0,8991	
ERS	62,7 $\pm$ 4,3	<b>45,3 <math>\pm</math> 6,5</b>	<b>76,9 <math>\pm</math> 4,8</b>	76,6 $\pm$ 6,6	54,3 $\pm$ 5,4	0,3078	51,2 $\pm$ 17,3	44,2 $\pm$ 7,1	82,6 $\pm$ 6,6	69,9 $\pm$ 6,7	69,9 $\pm$ 6,7	0,7669	
PEU	<b>42,0 <math>\pm</math> 3,4</b>	49,4 $\pm$ 4,9	36,0 $\pm$ 4,4	39,7 $\pm$ 5,9	43,4 $\pm$ 4,1	0,9299	46,8 $\pm$ 15,0	49,9 $\pm$ 5,3	38,1 $\pm$ 6,5	33,5 $\pm$ 5,7	33,5 $\pm$ 5,7	0,6408	
SAB	<b>60,8 <math>\pm</math> 3,3</b>	64,9 $\pm$ 4,1	57,4 $\pm$ 4,9	52,7 $\pm$ 6,1	65,7 $\pm$ 3,6	0,4038	71,3 $\pm$ 9,7	63,7 $\pm$ 4,6	48,2 $\pm$ 6,9	68,8 $\pm$ 6,0	68,8 $\pm$ 6,0	0,0735	
BOP	<b>47,4 <math>\pm</math> 3,9</b>	50,8 $\pm$ 5,6	44,7 $\pm$ 5,5	41,5 $\pm$ 6,7	51,0 $\pm$ 4,8	0,2744	36,8 $\pm$ 13,1	53,5 $\pm$ 6,2	42,6 $\pm$ 7,8	47,2 $\pm$ 7,7	47,2 $\pm$ 7,7	0,5304	
EPX	44,2 $\pm$ 3,8	53,1 $\pm$ 4,9	37,0 $\pm$ 5,3	<b>30,6 <math>\pm</math> 6,1</b>	<b>52,5 <math>\pm</math> 4,4</b>	<b>0,0146</b>	26,7 $\pm$ 8,4	58,2 $\pm$ 5,1	31,5 $\pm$ 7,3	43,7 $\pm$ 7,7	43,7 $\pm$ 7,7	0,2733	

\* Pour cette interaction significative, les comparaisons des moyennes deux par deux révèlent qu'il n'y a pas de différence significative pour les comparaisons CJTxBOU vs CJTxRBOUF et CJPxRBOUF vs CJTxRBOUF. Une différence significative est cependant détectée pour les comparaisons : CJPxBOU vs CJPxRBOUF et CJPxBOU vs CJTxBOU.

(Tableau 1c), alors que l'ensemble des trouées l'avaient atteint. Un effet significatif de traitement a été détecté pour le coefficient de distribution de l'ensemble des essences commerciales, ce dernier étant plus grand dans les trouées de CJT que dans les parquets de CJP (Tableau 5).

À titre indicatif, les coefficients de distribution des 7 principales essences commerciales, soit celles ayant des coefficients de distribution moyens supérieurs à 20 %, sont présentés au tableau 5. On notera que, tout comme 2 ans après coupe, le bouleau jaune est l'essence ayant le coefficient de distribution le plus élevé.

#### 2.4.1.2 Coefficients de distribution calculés avec d'autres critères

##### 2.4.1.2.1 Utilisation de placettes plus petites

Le fait d'évaluer les coefficients de distribution à partir de données de présence récoltées dans les quadrats de 6,25 m<sup>2</sup> plutôt que dans les placettes de 25 m<sup>2</sup> diminue les valeurs de coefficients de distribution obtenues (Tableau 6). L'effet varie toutefois selon le groupe d'essences. Ainsi, la réduction est plus forte chez les résineux (en moyenne, de 73,6 % à 46,1 %), intermédiaire chez les bouleaux (de 92,7 à 75,4 %), et moins marquée pour l'ensemble des essences commerciales (de 98,3 à 92,4 %).

Le fait d'utiliser des quadrats plus petits a aussi une incidence sur la distribution des coefficients de distribution obtenus; celle-ci est plus étendue lorsque des quadrats plus petits sont utilisés

**Tableau 6.** Coefficients de distribution (en %) des semis et des gaules pour les divers groupes d'essences, 5 ans après coupe, calculés à partir des données de présence par placette de 25 m<sup>2</sup> ou par quadrat de 6,25 m<sup>2</sup>. Les valeurs (moyenne  $\pm$  1 erreur type) sont présentées par traitement ainsi qu'au total.

Groupe d'essences	Traitement	Coefficient de distribution (%)	
		Placettes de 25 m <sup>2</sup>	Placettes de 6,25 m <sup>2</sup>
Bouleaux	CJP	91,7 $\pm$ 2,2	73,7 $\pm$ 3,5
	CJT	93,6 $\pm$ 1,3	76,8 $\pm$ 2,8
	Total	92,7 $\pm$ 1,2	75,4 $\pm$ 2,2
Résineux	CJP	81,7 $\pm$ 3,8	52,1 $\pm$ 3,9
	CJT	67,0 $\pm$ 4,5	41,1 $\pm$ 4,3
	Total	73,6 $\pm$ 3,1	46,1 $\pm$ 3,0
Essences commerciales	CJP	96,3 $\pm$ 1,5	89,5 $\pm$ 1,9
	CJT	99,9 $\pm$ 0,1	94,8 $\pm$ 1,0
	Total	98,3 $\pm$ 0,7	92,4 $\pm$ 1,1

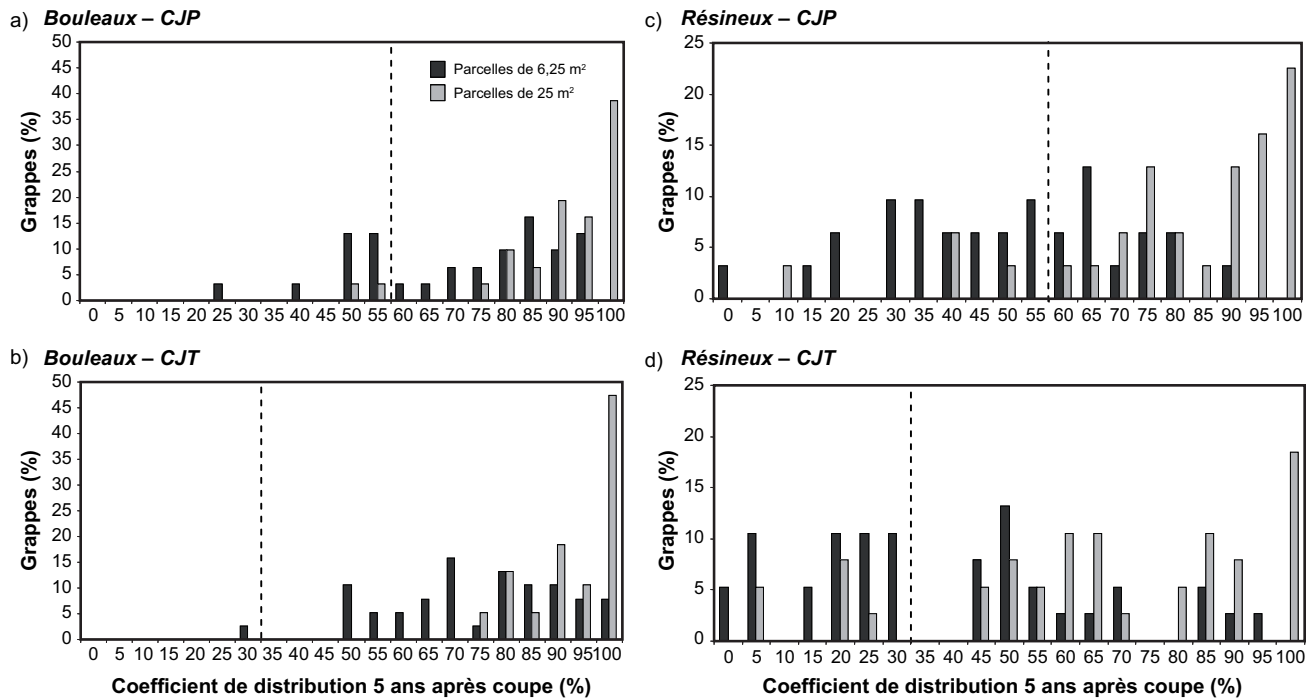
(Figure 9). La proportion des grappes de trouées et de parquets pour lesquelles on obtient des coefficients de distribution égaux ou supérieurs aux critères du MAF (Tableau 1b, c) est aussi affectée (Tableau 7). La proportion des grappes dans lesquelles les essences désirées se sont régénérées avec succès (selon les critères du MAF, tableau 1b) est plus faible lorsqu'on utilise des quadrats de 6,25 m<sup>2</sup> que des placettes de 25 m<sup>2</sup>. L'écart est toutefois plus grand dans les parquets que dans les trouées (Tableau 7). Par exemple, dans le cas des bouleaux, le taux de succès diminuait de 93,5 à 67,7 % dans les parquets alors qu'il variait peu dans les trouées. Cette différence observée entre les traitements est compréhensible, étant donné les différences entre les seuils visés (Figure 9a, b). Le même phénomène se produit pour les résineux (Figure 9c, d), de même que pour l'ensemble des essences commerciales (Tableau 7).

##### 2.4.1.2.2 Hausse du nombre minimal d'individus requis pour qu'une placette soit considérée comme stockée

Comme prévu, le fait d'augmenter le nombre d'individus exigés pour qu'une placette soit considérée comme stockée réduit la proportion des placettes qui sont effectivement considérées comme telles, et entraîne une diminution des valeurs de coefficients de distribution (Figure 10). Par exemple, dans le cas des bouleaux, le coefficient de distribution moyen pour l'ensemble des grappes passe de

**Tableau 7.** Pourcentage des grappes avec des coefficients de distribution égaux ou supérieurs à ceux spécifiés dans les critères d'évaluation du MAF (c.-à-d. pour les bouleaux et les résineux : 35 % dans les trouées et 60 % dans les parquets; pour l'ensemble des essences commerciales : 80 % dans les deux traitements), selon la grandeur des placettes utilisées.

Groupe d'essences	Traitement	Pourcentage des grappes	
		Placettes de 25 m <sup>2</sup>	Placettes de 6,25 m <sup>2</sup>
Bouleaux	CJP	93,5	67,7
	CJT	100,0	97,4
	Total	97,1	84,1
Résineux	CJP	87,1	38,7
	CJT	84,2	47,4
	Total	85,5	43,5
Essences commerciales	CJP	96,8	83,9
	CJT	100,0	97,4
	Total	98,6	91,3



**Figure 9.** Répartition des grappes en fonction des valeurs de coefficients de distribution obtenues 5 ans après coupe, selon la grandeur des placettes utilisées, pour les bouleaux dans a) les CJP et b) les CJT, et pour les résineux dans c) les CJP et d) les CJT. Les lignes verticales pointillées indiquent les coefficients de distribution minimaux qui devraient être visés pour chaque traitement, selon les critères d'évaluation du MAF.

81,1 à 56,8 %, selon qu'on exige la présence d'un seul ou de 5 individus. Les valeurs de coefficient de distribution continuent ainsi de diminuer, de sorte que si, par exemple, 25 individus étaient exigés par placette de 25 m<sup>2</sup> pour considérer une placette comme stockée, le coefficient de distribution moyen des bouleaux ne serait que de 22,7 %. Les mêmes tendances sont observées pour l'ensemble des essences commerciales et les résineux, quoique la diminution soit plus graduelle chez les premiers et plus rapide dans les seconds. On comprendra que de telles différences sont reliées aux densités auxquelles ceux-ci se retrouvent dans les placettes.

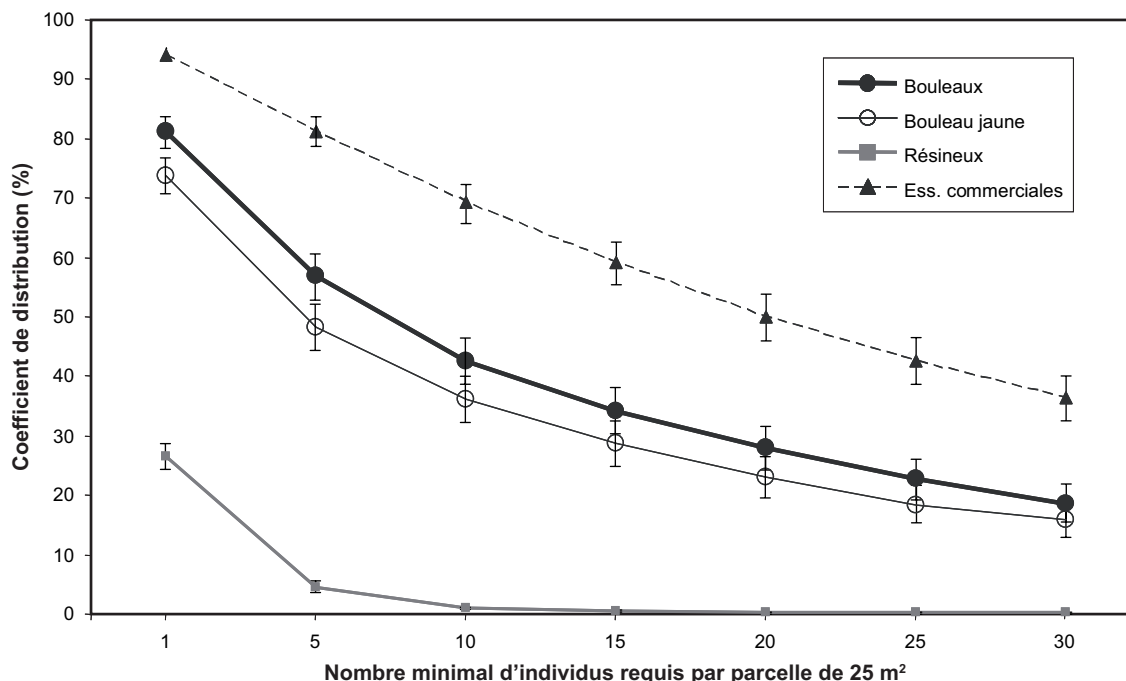
Les valeurs de coefficients de distribution correspondant au seuil de 1 individu exigé pour qu'une placette soit considérée comme stockée sont quelque peu plus basses que les coefficients de distribution préalablement présentés (c.-à-d. à la section 2.4.1.1). En effet, les présentes valeurs sont basées sur la présence de semis de 1 m et plus ou de gaules, alors que les coefficients de distribution calculés de façon standard prennent aussi en compte les semis de moins de 1 m. Les calculs présentés ici n'auraient pu être effectués en tenant compte des semis de moins de 1 m, puisque le décompte complet n'a pas été effectué au-delà de 10 individus.

La diminution des valeurs de coefficients de distribution engendrée par la hausse des exigences à rencontrer a aussi pour effet de diminuer la proportion des grappes traitées en CJT et CJP qui atteignent les valeurs minimales de coefficients de distribution spécifiées au MAF (Tableau 8). Par exemple, 83,9 % des parquets ont plus de 60 % de leurs placettes stockées avec un bouleau de 1 m ou plus, comparativement à 35,5 % des parquets comportant au moins 60 % de placettes avec au moins 10 bouleaux de 1 m et plus, et seulement 9,7 % des parquets comportant au moins 60 % de placettes avec au moins 25 bouleaux de 1 m et plus. Les proportions de grappes rencontrant les critères d'évaluation du MAF sont plus élevées dans les trouées que dans les parquets, puisque le coefficient de distribution visé n'est que de 35 % dans ce traitement (Tableau 1b). La même tendance se dessine toutefois quant à l'effet de hausser les exigences en ce qui a trait au nombre d'individus requis pour qu'une placette soit considérée comme stockée (Tableau 8).

#### 2.4.2 Densité

La densité des bouleaux (semis de 1 m et plus et gaules) ne variait pas de façon significative en fonction du traitement ou du GPP (Tableau 9). La densité moyenne des résineux était plus élevée





**Figure 10.** Coefficients de distribution moyens ( $\pm 1$  erreur type), 5 ans après coupe, obtenus pour l'ensemble des grappes de trouées et parquets en fonction du nombre minimal d'individus exigé (semis de 1 m et plus ou gaules) pour qu'une placette soit considérée comme stockée. Les résultats sont présentés pour les essences objectives bouleaux et résineux, pour l'ensemble des essences commerciales ainsi que pour les bouleaux jaunes, à titre indicatif.

**Tableau 8.** Pourcentage des grappes avec des coefficients de distribution égaux ou supérieurs à ceux spécifiés dans les critères d'évaluation du MAF (c.-à-d. pour les bouleaux et les résineux : 35 % dans les trouées et 60 % dans les parquets; pour l'ensemble des essences commerciales : 80 % dans les 2 traitements), selon le nombre minimal d'individus (semis de 1 m et plus ou gaules) exigé pour qu'une placette de 25 m<sup>2</sup> soit considérée comme stockée.

Groupe d'essences	Nombre minimal d'individus	Pourcentage des grappes		
		CJP	CJT	Total
Bouleaux	1	83,9	94,7	89,9
	5	58,1	63,2	60,9
	10	35,5	47,4	42,0
	15	22,6	44,7	34,8
	20	12,9	36,8	26,1
	25	9,7	28,9	20,3
	30	9,7	23,7	17,4
Résineux	1	9,7	13,2	11,6
	5	0,0	0,0	0,0
	10	0,0	0,0	0,0
	15	0,0	0,0	0,0
	20	0,0	0,0	0,0
	25	0,0	0,0	0,0
	30	0,0	0,0	0,0
Essences commerciales	1	90,3	89,5	89,9
	5	64,5	55,3	59,4
	10	38,7	47,4	43,5
	15	35,5	39,5	37,7
	20	19,4	23,7	21,7
	25	16,1	15,8	15,9
30	16,1	10,5	13,0	

**Tableau 9.** Densité (en individus/ha) des semis de 1 m et plus et des gaules, 5 ans après coupe, pour les essences objectives et les principales essences commerciales, considérées ensemble ou individuellement. La moyenne générale est suivie des moyennes par traitement, par GPP et par combinaison de traitement et de GPP (moyenne observée  $\pm 1$  erreur type), puis des probabilités associées aux différents effets ( $P_{\text{traitement}}$ ,  $P_{\text{GPP}}$  et  $P_{\text{interaction}}$ ). Les moyennes d'intérêt et les valeurs de P correspondant aux effets significatifs, le cas échéant, apparaissent en caractères gras. Les abréviations des noms d'espèces sont définies à l'annexe 1.

	Moyennes par traitement (individus/ha)			Moyennes par GPP (individus/ha)			Moyennes par combinaison traitement-GPP (interaction, en individus/ha)			$P_{\text{interaction}}$	
	CJP	CJT	$P_{\text{traitement}}$	BOU	RBOUF	$P_{\text{GPP}}$	CJPxBOU	CJTxBOU	CJTxBOUF		
<i>Essences objectives</i>											
Bouleaux	<b>7304</b> $\pm$ <b>1214</b>	8311 $\pm$ 2033	0,8404	6840 $\pm$ 1579	7584 $\pm$ 1710	0,4699	4059 $\pm$ 1659	6455 $\pm$ 1199	7503 $\pm$ 1901	9311 $\pm$ 3958	0,5167
Résineux	308 $\pm$ 46	<b>179</b> $\pm$ <b>35</b>	<b>0,0013</b>	201 $\pm$ 46	373 $\pm$ 67	0,3244	431 $\pm$ 92	473 $\pm$ 102	146 $\pm$ 45	220 $\pm$ 54	0,0926
<i>Essences commerciales</i>											
Toutes	<b>12335</b> $\pm$ <b>1347</b>	13267 $\pm$ 2153	0,9259	12837 $\pm$ 1814	12031 $\pm$ 1878	0,6787	10867 $\pm$ 3386	11254 $\pm$ 1615	13306 $\pm$ 2119	13218 $\pm$ 4127	0,7338
BOJ	<b>6260</b> $\pm$ <b>1192</b>	7357 $\pm$ 2026	0,8873	6100 $\pm$ 1540	6357 $\pm$ 1684	0,8519	3519 $\pm$ 1487	5184 $\pm$ 1066	6714 $\pm$ 1862	8151 $\pm$ 3974	0,7176
ERR	2185 $\pm$ 262	<b>2362</b> $\pm$ <b>417</b>	<b>0,0244</b>	2454 $\pm$ 504	2022 $\pm$ 293	0,5002	4478 $\pm$ 1810	1955 $\pm$ 327	1972 $\pm$ 420	2126 $\pm$ 560	0,4279
ERS	<b>1410</b> $\pm$ <b>276</b>	1062 $\pm$ 382	0,1703	2209 $\pm$ 533	927 $\pm$ 284	0,1869	975 $\pm$ 471	1079 $\pm$ 449	2502 $\pm$ 637	694 $\pm$ 218	0,9388
PEU	<b>705</b> $\pm$ <b>124</b>	892 $\pm$ 214	0,3015	530 $\pm$ 142	812 $\pm$ 180	0,5621	753 $\pm$ 302	918 $\pm$ 250	476 $\pm$ 161	648 $\pm$ 249	0,7505
SAB	211 $\pm$ 34	303 $\pm$ 67	0,0033	153 $\pm$ 35	247 $\pm$ 50	0,4721	<b>376</b> $\pm$ <b>76</b>	<b>289</b> $\pm$ <b>79</b>	<b>99</b> $\pm$ <b>29</b>	<b>183</b> $\pm$ <b>38</b>	<b>0,0199*</b>
BOP	<b>1044</b> $\pm$ <b>170</b>	1153 $\pm$ 258	0,4429	741 $\pm$ 236	1227 $\pm$ 230	0,3058	540 $\pm$ 398	1271 $\pm$ 295	789 $\pm$ 280	1159 $\pm$ 377	0,8213
EPX	<b>21</b> $\pm$ <b>5</b>	26 $\pm$ 7	0,1222	19 $\pm$ 7	23 $\pm$ 6	0,4022	17 $\pm$ 14	27 $\pm$ 8	20 $\pm$ 9	16 $\pm$ 10	0,3019
<i>Essences non commerciales</i>											
PRP	<b>4705</b> $\pm$ <b>494</b>	4879 $\pm$ 675	0,0712	4407 $\pm$ 798	4885 $\pm$ 635	0,5511	5095 $\pm$ 1036	4837 $\pm$ 787	4243 $\pm$ 963	4958 $\pm$ 1095	0,9905
ERE	<b>2972</b> $\pm$ <b>347</b>	3480 $\pm$ 514	0,0562	2526 $\pm$ 581	3241 $\pm$ 432	0,6050	4356 $\pm$ 1456	3312 $\pm$ 554	2090 $\pm$ 610	3134 $\pm$ 710	0,3601
COC	<b>2457</b> $\pm$ <b>333</b>	3187 $\pm$ 650	0,1551	2357 $\pm$ 378	2517 $\pm$ 486	0,2583	3890 $\pm$ 761	3052 $\pm$ 763	1992 $\pm$ 398	1699 $\pm$ 326	0,4718
ERP	<b>619</b> $\pm$ <b>115</b>	540 $\pm$ 180	0,0715	839 $\pm$ 204	487 $\pm$ 134	0,9382	361 $\pm$ 235	574 $\pm$ 211	952 $\pm$ 242	353 $\pm$ 108	0,5338
SAP	<b>528</b> $\pm$ <b>118</b>	628 $\pm$ 213	0,2267	594 $\pm$ 195	488 $\pm$ 150	0,6770	773 $\pm$ 530	600 $\pm$ 237	551 $\pm$ 212	316 $\pm$ 115	0,4670

\* Pour cette interaction significative, les comparaisons des moyennes deux par deux révèlent qu'il n'y a pas de différence significative pour les comparaisons CJPxBOU vs CJPxRBOUF et CJPxBOUF vs CJTxRBOUF. Une différence significative est cependant détectée pour les comparaisons : CJTxBOU vs CJTxRBOUF et CJPxBOU vs CJTxBOU.

dans les parquets que dans les trouées (Tableau 9), mais ne variait pas de façon significative en fonction du GPP. La densité moyenne de l'ensemble des essences commerciales ne variait pas significativement en fonction du traitement, ni en fonction du GPP. À titre indicatif, les densités des principales essences commerciales et non commerciales sont aussi présentées au tableau 9. On peut noter que le bouleau jaune était l'essence commerciale présente en plus forte densité, alors que le cerisier de Pennsylvanie était l'essence non commerciale la plus abondante. Aucun effet significatif de traitement ou de GPP n'a été détecté pour ces essences.

#### 2.4.3 Recouvrement des essences non commerciales

Cinq ans après coupe, seules quelques essences et groupes d'essences non commerciales ont été évalués en recouvrement. Parmi celles-ci, le framboisier a le plus grand recouvrement, soit  $33,0 \pm 1,7$  % en moyenne, une valeur quasi identique à celle enregistrée 2 ans après coupe. Par la suite, les essences et groupes d'essences se retrouvent sensiblement dans le même ordre que 2 ans après coupe et avec des valeurs similaires

de recouvrement moyen (MOS :  $9,7 \pm 1,1$  % ; HES :  $8,8 \pm 0,9$  % ; GRS :  $4,0 \pm 0,5$  % et VIL :  $2,6 \pm 0,4$  %). Les recouvrements des essences mentionnées ne variaient significativement pas en fonction du traitement ( $p \geq 0,0526$ ), ni en fonction du GPP ( $p \geq 0,2275$ ).

#### 2.4.4 Évaluation des facteurs influençant le succès de régénération du bouleau jaune

Le traitement (CJT vs CJP) et la superficie des trouées ou parquets n'affectent pas significativement le coefficient de distribution ni la densité du bouleau jaune (Tableau 10). Les facteurs relatifs à la strate dans laquelle les traitements étaient appliqués, soit le GPP et le pourcentage de surface terrière en bouleau jaune après coupe, n'avaient également aucun effet significatif sur le succès de régénération du bouleau jaune.

Les variables qui avaient parfois un impact sur le succès du bouleau jaune étaient celles relatives à la préparation de terrain et à ses effets sur les lits de germination, ainsi qu'un facteur en lien avec une essence de compétition (Tableau 10). Plus spécifiquement, le type de préparation de terrain

**Tableau 10.** Résultats de tests d'ANOVA ou de régression linéaire simple visant à identifier les variables explicatives qui influencent le coefficient de distribution (semis et gaules) ou la densité (semis de 1 m et plus et gaules) du bouleau jaune 5 ans après coupe. Les transformations utilisées pour chacune des variables sont indiquées entre parenthèses après le nom et les unités des variables. Lorsque l'effet d'une variable explicative était significatif, le type d'effet\* est précisé. Les effets significatifs apparaissent en caractères gras. Les analyses ont été effectuées sur les valeurs moyennes par grappe (n=69).

Variables explicatives	Coefficient de distribution du BOJ (%) (transformation angulaire)			Densité des semis de 1 m et plus et des gaules de BOJ (n/ha) (transformation logarithmique)		
	F	P > F	Effet*	F	P > F	Effet*
Traitement (CJT vs CJP)	0,62	0,4347	ns <sup>†</sup>	0,00	0,9649	ns
Superficie des trouées ou parquet (m <sup>2</sup> )	2,26	0,1374	ns	0,39	0,5344	ns
Groupe de production prioritaire (GPP)	0,00	0,9552	ns	0,00	0,9461	ns
Pourcentage de surface terrière en BOJ après coupe (%)	0,65	0,4241	ns	0,05	0,8258	ns
<b>Type de préparation de terrain</b>	1,62	0,2065	ns	<b>3,61</b>	<b>0,0326</b>	‡
Densité de poquets (n/ha)	1,35	0,2501	ns	2,60	0,1113	ns
Densité de microsites propices (n/ha)	0,63	0,4292	ns	0,64	0,4266	ns
<b>Recouvrement de sol minéral (%)</b>	<b>5,10</b>	<b>0,0272</b>	<b>Positif</b>	3,06	0,0850	ns
<b>Recouvrement de sol minéral et de litière perturbée (%)</b>	<b>4,34</b>	<b>0,0411</b>	<b>Positif</b>	<b>8,17</b>	<b>0,0057</b>	<b>Positif</b>
<b>Recouvrement du RUI 5 ans après coupe (%)</b>	1,25	0,2670	ns	<b>12,02</b>	<b>0,0009</b>	<b>Négatif</b>
Densité des semis de 1 m et plus et des gaules de PRP 5 ans après coupe (n/ha)	0,63	0,4299	ns	2,59	0,1122	ns

\* Pour une variable quantitative, il s'agit du sens de la pente (positif ou négatif).

<sup>†</sup> ns : non significatif.

<sup>‡</sup> La densité des semis était plus forte lorsque la préparation de terrain a été faite avec une excavatrice munie d'un godet plutôt qu'avec une débusqueuse avec lame standard.

avait un effet significatif sur la densité de bouleau jaune ( $p = 0,0326$ ), la densité moyenne obtenue dans les sites traités avec une excavatrice étant supérieure à celle obtenue dans les sites scarifiés à l'aide d'une débusqueuse munie d'une lame standard. Le recouvrement de sol minéral avait un effet positif sur le coefficient de distribution du bouleau jaune ( $p = 0,0272$ ), alors que le recouvrement de sol minéral et de litière perturbée avait un effet positif à la

fois sur le coefficient de distribution ( $p = 0,0411$ ) et la densité du bouleau jaune ( $p = 0,0057$ ). Finalement, le recouvrement du framboisier 5 ans après coupe avait un effet négatif sur la densité des bouleaux jaunes ( $p = 0,0009$ ) mais pas sur le coefficient de distribution de cette même essence ( $p = 0,2670$ ). La densité du cerisier de Pennsylvanie n'avait pas d'effet significatif sur le coefficient de distribution ni sur la densité du bouleau jaune ( $p \geq 0,1122$ ).

# Chapitre trois

## Discussion

### 3.1 Préparation de terrain

Dans cette étude, tous les sites ont reçu une préparation de terrain, mais seule une faible proportion (30 à 40 %) comportait un nombre de poquets à l'hectare suffisant pour rencontrer les critères d'évaluation du MAF (MRN 1998, MRNFP 2003). Lorsque les microsites propices étaient considérés plutôt que les poquets, une plus forte proportion des sites rencontrait les objectifs.

La préparation de terrain n'a pas été effectuée avec le même type d'équipement dans tous les secteurs, et ce facteur s'est révélé avoir une influence importante sur les résultats obtenus. En effet, la débusqueuse munie d'une lame râteau a permis de générer le plus de microsites propices et la plus forte proportion de sol minéral et de litière perturbée, mais ce type d'équipement ne s'est pas révélé adéquat pour créer des poquets. À cette fin, l'excavatrice est plus appropriée, même si elle n'a eu qu'une efficacité moyenne pour créer des microsites propices et de fortes proportions de sol minéral et de litière perturbée.

La perturbation du sol et la création de lits de germination adéquats influencent le succès de régénération du bouleau jaune (Godman et Krefting 1960). Le passage de la machinerie lors des opérations entraîne un certain bouleversement du sol. Cette perturbation de l'horizon organique est parfois suffisante pour permettre une installation adéquate des bouleaux (Ruel et Pineau 1994, Lorenzetti *et al.* 2008). Toutefois, une préparation de terrain peut favoriser davantage l'établissement de la régénération de telles essences (Godman et Krefting 1960, Perala et Alm 1990a, 1990b), l'absence d'une telle préparation entraînant des résultats décevants (Barrett *et al.* 1962, Blouin *et al.* 2011). Ce fait bien connu se confirme dans les résultats obtenus dans cette étude. En effet, la proportion de sol minéral (seule ou combinée à la litière perturbée) a eu un effet positif sur le coefficient de distribution et la densité du bouleau jaune, 5 ans après coupe. De tels résultats illustrent bien l'utilité d'accroître la proportion de ces lits de germination favorables aux bouleaux (Godman et Krefting 1960). La régénération du bouleau jaune n'était toutefois pas influencée par la densité de poquets ou de microsites propices.

Un scarifiage partiel par poquets présente certains avantages. Il permettrait, par exemple, de contrôler localement la compétition subie par la régénération (Elie *et al.* 2009). En effet, lors de la création du poquet, le scarifiage des horizons supérieurs du sol permet d'éliminer la végétation préétablie et une partie ou la totalité de la banque de graines enfouies (Elie *et al.* 2009). De plus, au moment du suivi après intervention, il est plus facile de répertorier la présence de poquets que d'évaluer le recouvrement de différents lits de germination. Finalement, une préparation de terrain par poquets fait avec une excavatrice permet l'accès à des terrains plus accidentés qu'avec une débusqueuse, ce qui constitue un autre avantage en faveur de l'excavatrice, malgré son utilisation beaucoup plus coûteuse (Cormier 2001).

Nonobstant les avantages potentiels des poquets, certains aspects de cette méthode de scarifiage ont été remis en question. Ainsi, il arrive souvent que le centre des poquets soit principalement constitué de sol minéral mis à nu. Bien que la mise à nu du sol minéral puisse favoriser l'établissement des semis, plusieurs s'interrogent sur le potentiel qu'offre un tel substrat pour la croissance et la survie des semis. Certains résultats indiquent que la disponibilité des éléments nutritifs est plus faible au centre qu'en bordure des poquets (Gastaldello *et al.* 2007), et que la croissance de semis de bouleaux établis dans des poquets serait inférieure à celle d'individus établis en bordure des poquets, là où l'on retrouve un mélange des horizons organique et minéral (Morin *et al.* 2003, Delagrangé et Nolet 2010).

Plusieurs études ont démontré que le mélange de sol minéral et d'humus est l'un des meilleurs substrats pour la survie et la croissance des essences qui dépendent d'une perturbation du sol pour leur établissement (Tubbs et Oberg 1966, Tubbs 1969, Lorenzetti *et al.* 2008). Le sol minéral mélangé à la matière organique partiellement décomposée permettrait une bonne rétention de l'humidité du sol, tout en offrant une texture relativement souple qui favorise la germination et l'établissement rapide des racines des semis (Godman et Krefting 1960, Wang 1965). Nos résultats démontrent que la

débusqueuse munie d'une lame râteau a permis d'obtenir la plus forte proportion de sol minéral et de litière perturbée.

Lors de la réalisation de cette étude, les critères d'évaluation de la préparation de terrain dans les CJT et les CJP étaient essentiellement établis en fonction du nombre de poquets à l'hectare (MRN 2000). De tels critères sont difficiles à respecter lorsque la préparation de terrain est effectuée à l'aide d'autres équipements que l'excavatrice. Pourtant, comme nous l'avons constaté, la préparation de terrain effectuée à l'aide de tels équipements permet de générer une bonne proportion de sol minéral et de litière perturbée. Les critères d'évaluation de la préparation de terrain dans les CJT et CJP devraient être révisés pour tenir compte des procédés de scarifiage autres que par poquets (Prévost et Thiffault 2013).

### 3.2 Coefficients de distribution des essences objectifs et de l'ensemble des essences commerciales

À première vue, les résultats obtenus concernant les coefficients de distribution de la régénération semblent très positifs, notamment pour les bouleaux et l'ensemble des essences commerciales. Toutefois, le succès de régénération obtenu doit, selon nous, être interprété avec prudence. En effet, celui-ci est évalué à l'aide de coefficients de distribution, dont on sait que la valeur dépend de la taille des placettes d'échantillonnage et des critères à rencontrer pour qu'une placette soit considérée comme stockée (Marquis 1987). Dans les deux cas, les méthodes actuelles d'évaluation des coefficients de distribution (MRNF 2007) tendent à favoriser l'obtention de valeurs élevées. Nous discutons de chacun de ces points dans les sections suivantes.

#### 3.2.1 Dimension des placettes de régénération

Dans les productions prioritaires qui nous concernent, des placettes de 2,82 m de rayon (25 m<sup>2</sup>) sont utilisées pour évaluer la régénération (MRNF 2007). Leur taille se situe à l'extrémité supérieure de la gamme des dimensions de placettes utilisées dans les inventaires de régénération (Leak 2007, MRNF 2007, USDA 2010). Au Québec, des placettes plus petites (ex. : 4 m<sup>2</sup> ou 9 m<sup>2</sup>) sont utilisées pour échantillonner les essences résineuses, les bouleaux à papier et les peupliers (MRNF 2007). Dans d'autres provinces canadiennes et aux États-Unis, on utilise également des placettes plus petites (ex. : de 4 m<sup>2</sup> à 13,5 m<sup>2</sup>) dans les inventaires de régénération (Marquis 1987, Manitoba Conservation 2010, USDA 2010). Or, plus les placettes sont grandes, plus la probabilité de détecter la présence d'un arbre est élevée (Armson 2005). On peut donc

s'attendre à ce que l'augmentation de la taille des placettes tende à augmenter les valeurs obtenues de coefficient de distribution (Armson 2005). L'atteinte d'un coefficient de distribution visé serait donc plus facile avec des placettes de plus grande dimension.

Afin de tester cette hypothèse et d'obtenir un aperçu des valeurs de coefficient de distribution qui auraient été obtenues avec des placettes plus petites, nous avons comparé les coefficients de distribution obtenus dans les placettes de 25 m<sup>2</sup> aux valeurs calculées à partir des quarts de placette (c.-à-d. des quadrats de 6,25 m<sup>2</sup>) qui ont été utilisés lors des inventaires de cette étude. Conformément aux attentes, les coefficients de distribution obtenus à l'aide des placettes plus petites étaient moins élevés et couvraient une étendue plus grande de valeurs que ceux obtenus avec les placettes de 25 m<sup>2</sup>. Ces résultats suggèrent que des coefficients de distribution évalués à l'aide de placettes plus petites pourraient permettre de mieux capter l'étendue des résultats réellement obtenus sur le terrain, et possiblement, de mieux identifier les secteurs qui pourraient nécessiter des interventions supplémentaires.

La taille des placettes utilisées pour caractériser le coefficient de distribution de la régénération devrait être sélectionnée de façon à permettre de spécifier le nombre d'arbres d'avenir que l'on désire obtenir par hectare, à un stade donné dans l'évolution du peuplement (Avery et Burkhart 2002). L'évaluation de coefficients de distribution à l'aide de placettes de 25 m<sup>2</sup> permet de déterminer si la régénération observée est susceptible de produire 400 tiges bien réparties/ha. Un peuplement caractérisé par une telle densité de tiges bien réparties à l'hectare est clairement à un stade avancé de développement (Leak *et al.* 1987, Guillemette *et al.* 2005, voir leur figure 15). Un laps de temps important est donc susceptible de s'écouler entre la coupe d'origine et l'obtention d'un peuplement ayant de telles caractéristiques. Or, plus le temps écoulé est important, plus l'incertitude est grande quant aux chances de survie de la régénération observée initialement.

Selon nous, il pourrait, dans certaines circonstances, être utile de formuler des objectifs sylvicoles pour des stades plus précoces dans le développement du peuplement. Cela pourrait notamment être le cas pour les superficies destinées à une sylviculture intensive et d'élite, en vertu du nouveau régime forestier (Gravel et Meunier 2013). Par exemple, dans des secteurs où l'on envisagerait d'avoir recours à des interventions d'éclaircie précommerciale ou commerciale, il pourrait être plus utile d'évaluer les coefficients de distribution

avec des placettes plus petites permettant de capter des gradients plus étendus dans le nombre de tiges bien réparties à l'hectare. En effet, l'inventaire devrait renseigner l'aménagiste sur la présence (ou non) d'un nombre de tiges bien réparties à l'hectare pouvant atteindre le millier (Thiffault et Hébert 2013). Un échantillonnage dans des placettes de 25 m<sup>2</sup> ne permet pas d'obtenir ces informations.

### 3.2.2 Critères à rencontrer pour qu'une placette soit considérée comme stockée

En plus de la taille des placettes, les critères à rencontrer pour qu'une placette soit considérée comme stockée peuvent directement influencer les coefficients de distribution obtenus. En effet, plus les critères sont faciles à rencontrer, plus les coefficients de distribution sont élevés. Présentement, on considère qu'une placette est stockée lorsqu'on y retrouve au moins un individu de l'essence ou du groupe d'essences d'intérêt\*. Or, les taux de mortalité des arbres sont généralement très élevés aux stades de semis et de gaulis. Par exemple, OMNR (1983, voir leur figure 27) rapporte que seulement 50 % de la cohorte initiale de germnants de bouleau jaune serait encore présente 5 ans après coupe, et 20 % 10 ans après coupe. Les taux de mortalité peuvent également être relativement élevés chez les gaules et les perches. Par exemple, au Connecticut, Ward et Stephens (1997) rapportent des taux de mortalité de 20 à 40 % sur 10 ans dans des peuplements de chênes, d'érables et de bouleaux. Des peuplements initialement bien régénérés en bouleau jaune peuvent subir des pertes importantes après des épisodes de dépérissement ou de verglas (Zarnovican 1998, 2001). Dans de jeunes strates équiennes de feuillus, on peut s'attendre à une diminution de la densité des tiges en régénération suivant une courbe exponentielle négative, en fonction du nombre d'années après la coupe (Leak 1969). Le déclin exponentiel de la densité, les probabilités élevées de mortalité et les nombreux facteurs de risque devraient être pris en compte dans l'établissement des critères définissant une placette comme stockée, de façon à ce qu'une placette considérée comme stockée à un stade précoce de développement du peuplement ait de meilleures chances de contenir encore une tige d'avenir lorsque le peuplement atteindra le stade de développement visé.

\* Depuis la parution des *Instructions relatives* de 2005-2006 (MRNF 2005), on spécifie que la régénération doit mesurer plus de 15 cm de hauteur. Cette spécification était auparavant absente des *Instructions relatives*, et n'a donc pas été considérée lors de l'élaboration du protocole de prise de mesures dans le présent projet (Bédard et al. 2001, 2003).

Marquis (1987) mentionne que le nombre d'individus exigé pour qu'une placette soit considérée comme stockée devrait permettre d'avoir initialement *un nombre suffisant d'individus pour produire un arbre à maturité* d'une essence désirée dans le peuplement à reconstituer. Le nombre d'individus nécessaires à un stade précoce de développement du peuplement pour produire éventuellement un arbre à maturité doit nécessairement tenir compte du taux de mortalité anticipé entre les deux stades. La taille des individus doit aussi être prise en compte. Ainsi, le nombre d'individus nécessaires pour définir une placette comme étant stockée est moindre si ceux-ci sont de plus grande taille (Marquis 1987).

Leak (1969), quant à lui, présente une démarche quantitative pour déterminer le nombre nécessaire d'individus pour qu'une placette soit considérée comme stockée. En se basant sur le postulat que la densité des tiges diminue avec l'augmentation de leur diamètre selon une courbe exponentielle négative, il décrit comment établir le nombre de tiges présentes dans une placette au temps  $t_0$  (ou au diamètre  $D_0$ ) pour qu'un nombre suffisant de ces tiges survivent jusqu'au temps  $t_1$  (au diamètre  $D_1$ ). La courbe est calibrée à partir de données obtenues dans de jeunes peuplements de feuillus nordiques. Cette méthode peut être utilisée pour produire des tableaux qui aideront à déterminer le nombre initial d'individus requis par placette pour assurer la présence d'un nombre suffisant d'arbres à un stade ultérieur de développement du peuplement.

Il pourrait être fort utile de déterminer le nombre de tiges de bouleaux (ou autres essences visées) nécessaires dans une placette de 25 m<sup>2</sup> pour assurer avec une certaine probabilité la survie d'au moins une tige d'avenir dans le peuplement au stade de maturité visé. Toutefois, cet exercice dépasse le cadre du présent document. À titre purement indicatif, nous avons quand même évalué l'effet, sur les coefficients de distribution moyens des bouleaux, d'une hausse des critères à rencontrer pour qu'une placette soit considérée comme stockée. En ne tenant compte que des semis de 1 m et plus et des gaules présentes 5 ans après coupe, nous avons évalué les coefficients de distribution en fonction d'un nombre minimal d'individus exigé pour qu'une placette soit considérée comme stockée, variant de 1 à 30. Les résultats de cet exercice nous indiquent que, si l'on visait l'obtention d'au moins 25 semis de 1 m et plus de bouleaux par placette de 25 m<sup>2</sup>, 5 ans après coupe, pour considérer la placette comme stockée, le coefficient de distribution des bouleaux ne serait que d'environ 20 % (Figure 10), et seuls 10 % des parquets et 29 % des trouées seraient régénérés avec succès. Même une hausse

plus modérée des exigences (par exemple en n'exigeant que la présence de 5 individus de 1 m et plus par placette) aurait un effet appréciable sur les taux de succès obtenus dans les CJP et les CJT, car la proportion des parquets et trouées régénérés avec succès serait alors de 58 % et 63 %, respectivement. Ces taux de succès sont considérablement moins élevés que ceux obtenus lorsqu'un seul semis est requis pour considérer une placette comme stockée.

### 3.2.3 Conclusions concernant les méthodes de calculs des coefficients de distribution

La présence d'un seul individu d'une essence ou d'un groupe d'essences donné dans une placette de 25 m<sup>2</sup>, à un stade aussi précoce qu'à 2 ou 5 ans après coupe, renseigne peu sur la probabilité qu'une tige à maturité soit encore présente dans cette portion du peuplement plusieurs décennies plus tard, étant donné les taux de mortalité élevés et les facteurs de risque à prendre en compte (Leak 1969, OMNR 1983, Zarnovican 1998, 2001). Nous recommandons donc de réviser certains aspects de la méthode d'établissement des coefficients de distribution, ou du moins, de les soumettre à une réflexion critique. La taille des placettes utilisées pour évaluer la régénération devrait être établie de manière à permettre d'évaluer le mieux possible les caractéristiques du peuplement objectif. De plus, les critères à rencontrer pour qu'une placette soit considérée comme stockée devraient être réévalués de façon à s'assurer que les placettes jugées stockées, quelques années après coupe, comportent réellement un nombre de tiges suffisant pour permettre la survie d'au moins une tige à maturité. Clairement, les critères d'évaluation du succès de régénération devraient être basés sur des informations quantitatives et bien documentées quant au patron de développement des peuplements (Leak 1969, Armson 2005, Bowling et White 2005, Farnden 2009). L'établissement de tels seuils demande une analyse dont l'envergure dépasse le cadre du présent travail, mais ce besoin de recherche devrait être retenu et des efforts en ce sens mériteraient d'être investis, à court ou moyen terme.

### 3.3 Densité et recouvrement des essences commerciales et non commerciales

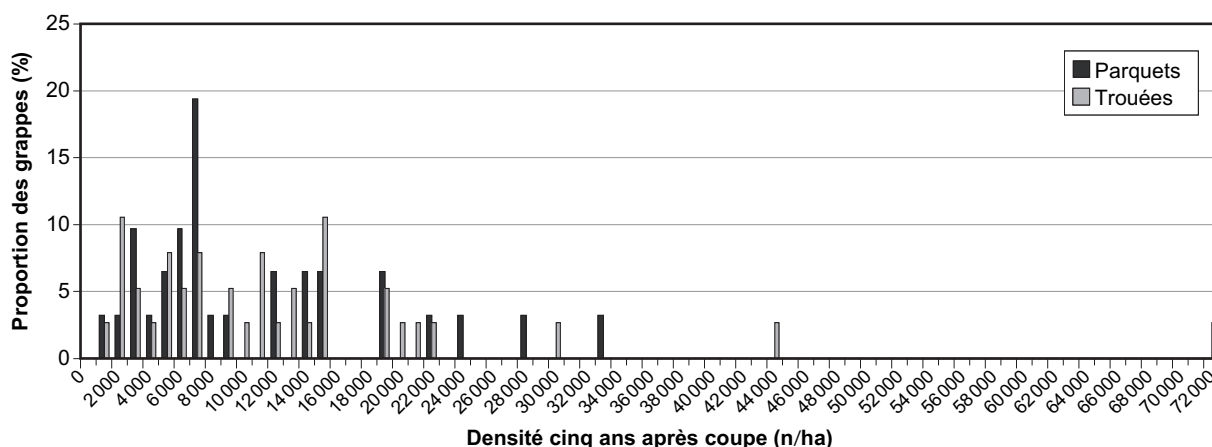
Outre les coefficients de distribution dont nous avons discuté jusqu'à présent, la densité des essences commerciales et non commerciales ainsi que le recouvrement de certaines essences non commerciales ont aussi été évalués dans les dispositifs étudiés. Ces données constituent une source d'information supplémentaire pour juger du succès rencontré pour la régénération après

les traitements de CJT et CJP. Bien que le MAF ne spécifie pas de critère d'évaluation de la régénération en fonction de la densité, les résultats obtenus peuvent être comparés à des valeurs présentées dans la littérature.

En Ontario, d'anciennes normes (Buda et White 2007) précisent que pour le groupe des forêts d'érable à sucre, bouleau jaune et pruche, l'objectif de densité pour les essences désirées, 5 à 10 ans après coupe, devrait être de 12 350 tiges/ha ou plus (hauteur de 60 à 120 cm). Cette valeur cible est fréquemment évoquée dans la littérature (ex. : Leak *et al.* 1987). Tubbs (1977) considère aussi qu'une densité minimale de 12 000 semis/ha (hauteur de 60 à 120 cm) doit être présente pour qu'une coupe finale soit envisagée avec succès dans un contexte de coupe progressive. Finalement, Nyland (2002) présente des balises pour juger du succès de la régénération, notamment après des coupes à blanc et des coupes progressives. Cet auteur mentionne qu'une densité de 12 300 semis/ha (de 30 cm et plus), quelques années après coupe, est relativement faible, mais qu'elle pourrait quand même permettre une pleine occupation de l'espace (*full stocking*), 20 à 25 ans après coupe, pour les essences désirées (dans ce cas : le bouleau jaune, l'érable à sucre, le pin blanc, les chênes, les frênes, le bouleau à papier, la pruche et les épinettes). Dans nos dispositifs de CJT et CJP, la densité moyenne de l'ensemble des essences commerciales obtenues était de 12 335 tiges/ha (Tableau 9), ce qui correspond donc aux valeurs cibles préalablement mentionnées. Toutefois, même si la valeur moyenne de tous les secteurs est pertinente à considérer, c'est plutôt à une échelle plus réduite qu'on doit juger du succès de régénération après un traitement sylvicole. Ainsi, on peut noter que plus de la moitié des parquets et des grappes de trouées avaient des densités d'essences commerciales inférieures à 12 000 individus/ha (hauteur  $\geq$  1 m) (Figure 11). Une proportion non négligeable des secteurs traités présentent donc des densités inférieures aux valeurs cibles citées dans la littérature pour les essences commerciales.

Malgré le fait que la densité de l'ensemble des essences commerciales n'atteigne souvent pas des valeurs très élevées, les bouleaux (et le bouleau jaune en particulier) semblent bien se régénérer après les 2 traitements étudiés. En effet, 5 ans après coupe, la densité des bouleaux était en moyenne supérieure à 7 000 individus/ha (semis de plus de 1 m et gaules, tableau 9). Près du tiers de l'ensemble des semis de 1 m et plus et des gaules est constitué de bouleaux, et un peu plus du quart si l'on ne considère que le bouleau jaune. Ces proportions sont exprimées en





**Figure 11.** Répartition des grappes de trouées et des parquets par classe de densité de l'ensemble des essences commerciales observées 5 ans après coupe, pour les semis de 1 m et plus et les gaules. La densité est représentée en classes de 1 000 ; la première classe (« 0 ») correspond aux densités de 0 à 999 (et ainsi de suite).

fonction de l'ensemble des essences (commerciales et non commerciales). Parmi les essences commerciales, près de 60 % des tiges sont des bouleaux, dont la majorité sont des bouleaux jaunes.

Par contre, les traitements étudiés ont également favorisé l'installation et le développement de plusieurs espèces non commerciales. En effet, celles-ci représentaient près de 50 % de la densité des semis de 1 m et plus et des gaules, 5 ans après coupe. Plusieurs espèces non commerciales étaient présentes, en particulier le cerisier de Pennsylvanie, l'érable à épis et le noisetier. De ces 3 espèces, le cerisier prédominait, avec une densité moyenne supérieure à 4 500 individus/ha (Tableau 9). La germination du cerisier de Pennsylvanie est favorisée par l'effet combiné d'une perturbation du sol et d'une ouverture importante du couvert forestier (Nyland *et al.* 2007). Il n'est donc pas surprenant qu'on l'ait retrouvé dans plus de 85 % des grappes de trouées et parquets. Cette espèce à croissance très rapide acquiert en quelques années une hauteur dominante par rapport aux autres essences (Bicknell 1982). Ce phénomène a également été observé dans les dispositifs étudiés, puisque 5 ans après coupe, le cerisier atteignait les hauteurs les plus élevées, particulièrement dans les parquets (données non présentées). Nyland *et al.* (2007) mentionnent toutefois que la présence du cerisier n'est pas nécessairement problématique. En effet, son feuillage relativement peu dense laisse passer une proportion relativement importante de la lumière incidente, de sorte que plusieurs essences tolérantes à l'ombre sont en mesure de survivre sous son couvert (Nyland *et al.* 2007). Cependant, la croissance et la survie des essences moins tolérantes (comme le bouleau jaune) pourraient être davantage affectées (Marquis 1965, Hannah 1991).

Nyland *et al.* (2007) suggèrent d'établir un certain seuil de densité, au-delà duquel la présence du cerisier pourrait engendrer une pression de compétition susceptible de compromettre la croissance et la survie des essences désirées. Un tel seuil peut varier selon les régions, les conditions de site et les essences présentes. Ces auteurs mentionnent toutefois que les effets néfastes du cerisier de Pennsylvanie deviendraient particulièrement perceptibles lorsque la densité des tiges de plus de 3 pieds est supérieure à 3 000/acre. Si l'on utilise un seuil à peu près équivalent de 7 500 tiges/ha (hauteur > 1 m), on constate que la densité moyenne de cerisier serait supérieure au seuil en question dans environ 25 % des sites étudiés.

Outre les densités parfois importantes de cerisier, la présence du framboisier a été détectée dans l'ensemble des sites dès la deuxième année après coupe. Les conditions créées par les CJT et les CJP avec préparation de terrain sont idéales pour le développement du framboisier. En effet, l'installation de cette espèce est favorisée par un scarifiage du sol (Marquis 1965, Prévost *et al.* 2010, Bédard et DeBlois 2010) et une ouverture importante du couvert (Donoso et Nyland 2006). Le recouvrement du framboisier était en moyenne d'un peu plus de 30 %, 2 et 5 ans après coupe ; cette valeur est comparable à celles observées par Prévost *et al.* (2010) dans des trouées de diverses dimensions et dans des parquets dans des peuplements mixtes de bouleaux et de conifères, 2 à 5 ans après coupe. Donoso et Nyland (2006) mentionnent que le framboisier envahit les parterres de coupe en moins de 2 à 3 ans lorsque le couvert résiduel est faible. Ces auteurs mentionnent toutefois que 5 à 7 ans après coupe, les essences feuillues ont généralement émergé de la strate de framboisier.

Dans les dispositifs de notre étude, toutefois, seules quelques essences à croissance rapide comme les peupliers et le bouleau à papier avaient atteint une hauteur supérieure à celle du framboisier, 5 ans après coupe (données non présentées). Le bouleau jaune n'avait généralement pas encore émergé de la strate de framboisier, 5 ans après coupe (données non présentées). La dominance en hauteur du framboisier, qui semble persister plus longtemps à nos

latitudes que ce qui est rapporté par Donoso et Nyland (2006), pourrait expliquer la relation négative qui a été détectée entre le recouvrement de framboisier et la densité du bouleau jaune, 5 ans après coupe (Tableau 10). Comme le suggèrent Donoso et Nyland (2006), il est toutefois fort probable que les bouleaux et la plupart des essences feuillues surpassent sous peu le framboisier.

## Conclusion

Le principal objectif de cette étude était de déterminer si les CJT et les CJP pratiquées de 2000 à 2005 respectaient les critères du MAF, en ce qui concerne la préparation de terrain et les coefficients de distribution de la régénération. Les résultats obtenus ont démontré qu'il était difficile de créer suffisamment de poquets pour rencontrer les normes en vigueur. Ceci est probablement dû au fait que certains types de machinerie (ex. : débusqueuse munie d'une lame râteau ou d'une lame standard) ne sont pas adéquats pour créer des poquets. Malgré tout, de tels équipements (particulièrement la débusqueuse munie d'une lame râteau) permettent d'obtenir un scarifiage d'une intensité suffisante, si l'on en juge par la densité de microsites propices et par les recouvrements de sol minéral et de litière perturbée. Nous en concluons donc qu'il serait avantageux de viser un certain degré de perturbation du sol (qui pourrait être exprimé en pourcentage de recouvrement de sol minéral et de litière perturbée), sans que cette perturbation du sol ne soit *nécessairement* effectuée en créant des poquets. Notons bien ici que les poquets, et le scarifiage partiel effectué à l'aide d'une excavatrice, peuvent demeurer un choix avisé dans certaines circonstances (ex. : terrain rugueux, forte compétition par des essences arbus-tives, etc.). Nos résultats indiquent toutefois que la préparation de terrain obtenue à l'aide d'équipements tels qu'une débusqueuse munie d'une lame râteau semble donner des résultats adéquats sans que des poquets ne soient créés.

Finalement, les principaux résultats d'intérêt dans ce mémoire concernaient la régénération des essences objectifs et de l'ensemble des essences commerciales. Bien que des résultats positifs aient été obtenus (avec des coefficients de distribution dépassant les attentes dans la plupart des cas), nous sommes d'avis qu'ils doivent être évalués de façon critique et prudente. Selon nous, la méthode d'échantillonnage utilisée pour établir

les coefficients de distribution favorise l'obtention de valeurs élevées. Un certain nombre de points demanderaient, à notre avis, à être pris en compte lors d'une éventuelle révision des normes relatives au suivi de la régénération, notamment la taille des placettes utilisées et les critères à rencontrer pour qu'une placette soit considérée comme stockée.

Il serait pertinent d'évaluer la possibilité d'utiliser des placettes plus petites que 25 m<sup>2</sup>, et de réviser les critères à rencontrer pour qu'une placette soit considérée comme stockée. À l'heure actuelle, une placette est considérée comme stockée lorsqu'elle contient au moins un semis de 15 cm ou plus de hauteur. Selon nous, la présence d'un seul individu d'une essence ou d'un groupe d'essences dans une placette de 25 m<sup>2</sup>, à un stade aussi précoce qu'à 2 ou 5 ans après coupe, ne procure que peu d'assurance quant à la probabilité qu'une tige soit encore présente à maturité dans cette portion du peuplement plusieurs décennies plus tard, étant donné les taux de mortalité élevés et les facteurs de risque à prendre en compte (Leak 1969, OMNR 1983, Zarnovican 1998, 2001). Nous suggérons donc que les critères d'évaluation du succès de régénération (dans le présent cas, la définition d'une placette stockée) soient établis sur la base d'informations quantitatives quant au patron de développement des peuplements (Leak 1969, Marquis 1987, Armson 2005, Farnden 2009).

La mesure des effets réels des CJT et des CJP se poursuit actuellement, de sorte que la prise de données pour le suivi 10 ans après coupe sera complétée à l'automne 2015. Ces résultats seront évalués en fonction des résultats attendus pour le second suivi dans les traitements de CJT et CJP. Les mesures effectuées 10 ans après coupe procureront également des données utiles pour quantifier l'évolution de la régénération des essences objectifs et de l'ensemble des essences commerciales après ces traitements.



## Références bibliographiques

- Armson, K.A., 2005. *Regeneration Standards: What has the past to show us?* For. Chron. 81: 781-784.
- Arseneault, J.E., M.R. Saunders, R.S. Seymour et R.G. Wagner, 2011. *First decadal response to treatment in a disturbance-based silviculture experiment in Maine*. For. Ecol. Manage. 262: 404-412.
- Avery, T.E. et H.E. Burkhart, 2002. *Forest Measurements* (5<sup>th</sup> ed.). McGraw-Hill Higher Education. New York, NY. 456 p.
- Barrett, J.W., C.E. Farnsworth et W. Rutherford Jr., 1962. *Logging effects on regeneration and certain aspects of microclimate in northern hardwoods*. J. For. 60: 630-639.
- Bédard, S. et J. DeBlois, 2010. *Effets de trouées sylvicoles sur l'établissement de la régénération d'une érablière à bouleau jaune après 5 ans*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 159. 28 p.
- Bédard, S., Z. Majcen et P. Boulay, 2001. *Protocole de mesure des effets réels des traitements sylvicoles : coupe de jardinage par trouées et coupe de régénération par parquets. Partie 1 : Installation des dispositifs et évaluation des conditions environnementales*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Rapport interne n° 471. 23 p.
- Bédard, S., Z. Majcen, S. Meunier et P. Boulay, 2003. *Protocole de mesure des effets réels des traitements sylvicoles : coupe de jardinage par trouées et coupe de régénération par parquets*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Rapport interne n° 478 (Complète et remplace le rapport interne n° 471). 40 p.
- Bicknell, S.H., 1982. *Development of canopy stratification during early succession in Northern Hardwoods*. For. Ecol. Manage. 4: 41-51.
- Blouin, D., M. Ruel, P. Bournival et G. Lessard, 2011. *Étude de différents systèmes de régénération pour favoriser le bouleau jaune – Éducation et suivi de la régénération 13 ans après intervention dans le dispositif de Woburn. Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier – Volet 1, Rapport final*. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy (CERFO). Québec, Québec. 83 p. [[www.cerfo.qc.ca/index.php?id=18&no\\_cache=1&tx\\_drblob\\_pi1\[downloadUid\]=252](http://www.cerfo.qc.ca/index.php?id=18&no_cache=1&tx_drblob_pi1[downloadUid]=252)].
- Boivin, J.-L., 1985. *Coupes par bandes dans des peuplements de feuillus – Résultats après 14 ans*. For. Chron. 61: 229-232.
- Bolton, N.W. et A.W. D'Amato, 2011. *Regeneration responses to gap size and coarse woody debris within natural disturbance-based silvicultural systems in northeastern Minnesota, USA*. For. Ecol. Manage. 262: 1215-1222.
- Bowling, C. et R.G. White, 2005. *Benchmark renewal standards: What you see is what you get... (NOT)!!* Dans : Colombo, S.J. (éd.) *Proceedings of The Thin Green Line: A Symposium on the State-of-the-Art in Reforestation*. 26-28 juillet 2005. Thunder Bay, Ontario. Ontario Ministry of Natural Resources, Ontario Forest Research Institute. Forest Research Information Paper n° 160. p. 125-128. [[www.mnr.gov.on.ca/stdprodconsume/groups/lr/@mnr/@ofri/documents/document/mnr\\_e005529.pdf](http://www.mnr.gov.on.ca/stdprodconsume/groups/lr/@mnr/@ofri/documents/document/mnr_e005529.pdf)].
- Buda, N.J. et R.G. White, 2007. *Forest regeneration standards in Ontario: A historical perspective*. Ontario Ministry of Natural Resources, Northwest Science and information (NWSI). Information Report IR-006. Thunder Bay, ON, 16 p. + annexes. [[www.ontla.on.ca/library/repository/mon/22000/277745.pdf](http://www.ontla.on.ca/library/repository/mon/22000/277745.pdf)].
- Burns, R.M. et B.H. Honkala, 1990. *Silvics of North America*. U.S.D.A. Forest Service, Agriculture Handbook n° 654, Volumes 1 et 2. Washington, DC (États-Unis). [[www.na.fs.fed.us/spfo/pubs/silvics\\_manual/table\\_of\\_contents.htm](http://www.na.fs.fed.us/spfo/pubs/silvics_manual/table_of_contents.htm)].
- Cormier, D., 2001. *Préparation de terrain en coupe par trouées pour favoriser l'établissement du bouleau jaune*. Avantage 2 : 4 p.

- Crow, T.R. et F.T. Metzger, 1987. *Regeneration under selection cutting*. Dans : Nyland, R.D. (éd.). *Managing northern hardwoods. Proceedings of a silvicultural symposium*. 23-26 juin 1986. State University of New York (SUNY), College of Environmental Science and Forestry. Syracuse, NY (États-Unis). Miscellaneous Publication n° 13 (ESF 87-002). Soc. of American Foresters Publication N° 87-03.
- Dale, M.E., H.C. Smith et J.N. Percy, 1994. *Size of clearcut opening affects species composition, growth rate and stand characteristics*. U.S.D.A. Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. Radnor, PA (États-Unis). Research Paper NE-698, 21 p. [[www.treesearch.fs.fed.us/pubs/viewpub.jsp?index=6444](http://www.treesearch.fs.fed.us/pubs/viewpub.jsp?index=6444)].
- Delagrangé, S. et P. Nolet, 2010. *Établissement, croissance et survie du bouleau blanc et de l'épinette blanche après l'application de traitements de scarifiage par poquets*. Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue (IQAFF). Ripon, Québec. Rapport final. 36 p. + annexes. [[http://isfort.uqo.ca/sites/isfort.uqo.ca/files/fichiers/publications\\_IQAFF/Etablissement%20croissance%20et%20survie%20BOP%20et%20EBP%20apres%20traitement%20de%20scarifiage%20par%20poquets%202010.pdf](http://isfort.uqo.ca/sites/isfort.uqo.ca/files/fichiers/publications_IQAFF/Etablissement%20croissance%20et%20survie%20BOP%20et%20EBP%20apres%20traitement%20de%20scarifiage%20par%20poquets%202010.pdf)].
- 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: 288-296.
- Elie, J.-G., J.-C. Ruel et J.-M. Lussier, 2009. *Effect of browsing, seedbed, and competition on the development of yellow birch seedlings in high-graded stands*. North. J. Appl. For. 26: 99-105.
- Farnden, C., 2009. *An analysis framework for linking regeneration standards to desired future forest conditions*. For. Chron. 85: 285-292.
- Gasser, D., C. Messier, M. Beaudet et M.J. Lechowicz, 2010. *Sugar maple and yellow birch regeneration in response to canopy opening, liming and vegetation control in a temperate deciduous forest of Quebec*. For. Ecol. Manage. 259: 2006-2014.
- Gastaldello, P., J.-C. Ruel et D. Paré, 2007. *Micro-variations in yellow birch (Betula alleghaniensis) growth conditions after patch scarification*. For. Ecol. Manage. 238: 244-248.
- Godman, R.M. et L.W. Krefting, 1960. *Factors important to yellow birch establishment in upper Michigan*. Ecology 41: 18-28.
- Guillemette, F., G. Lessard et D. Blouin, 2005. *Création de tables de rendement pour le bouleau jaune*. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy (CERFO). Québec, Québec. 47 p. [[www.cerfo.qc.ca/index.php?id=18&no\\_cache=1&tx\\_drblblob\\_pi1\[downloadUId\]=76](http://www.cerfo.qc.ca/index.php?id=18&no_cache=1&tx_drblblob_pi1[downloadUId]=76)].
- Gravel, J. et S. Meunier, 2013. Chapitre 3 – Le gradient d'intensité de la sylviculture. Dans : Ministère des Ressources naturelles, *Le guide sylvicole du Québec, Tome 2 – Les concepts et l'application de la sylviculture*. Ouvrage collectif sous la supervision de C. Larouche, F. Guillemette, P. Raymond et J.-P. Saucier. Les Publications du Québec. Québec, Québec. p. 32-41.
- Hannah, P.R., 1991. *Regeneration of northern hardwoods in the northeast with the shelterwood method*. North. J. Appl. For. 8: 99-104.
- Hatcher, R.J., 1966. *Yellow birch regeneration on scarified seedbeds under small canopy openings*. For. Chron. 42: 350-358.
- Henry, J.D. et J.M.A. Swan, 1974. *Reconstructing forest history from live and dead plant material – an approach to the study of forest succession in southwest New Hampshire*. Ecology 55: 772-783.
- Leak, W.B., 1969. *Stocking of northern hardwood regeneration based on exponential dropout rate*. For. Chron. 45(5): 344-347.
- Leak, W.B., 2007. *Accuracy of regeneration surveys in New England northern hardwoods*. North. J. Appl. For. 24: 227-229.
- Leak, W.B. et S.M. Filip, 1977. *Thirty-eight years of group selection in New England northern hardwoods*. J. For. 75: 641-643.
- Leak, W.B. et J.H. Gottsacker, 1985. *New approaches to uneven-aged management in New England*. North. J. Appl. For. 2: 28-31.
- Leak, W.B. et P.E. Sendak, 2002. *Changes in species, grade, and structure over 48 years in a managed New England northern hardwood stand*. North. J. Appl. For. 19: 25-27.
- Leak, W.B., D.S. Solomon et P.S. DeBald, 1987. *Silvicultural guide for northern hardwood types in the northeast (revised)*. U.S.D.A. Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Broomall, PA (États-Unis). Research Paper NE-603. 36 p. [<http://treesearch.fs.fed.us/pubs/4421>].

- Lessard, G., T. Rycabel, D. Blouin, M. Huot, R. Jobidon, C. Camiré et C. Olivier, 1999. *L'utilisation des trouées dans la régénération des forêts du Québec. Première partie de deux.* L'Aubelle 128(jan.-fév.-mars), encart. 15 p.
- Lorenzetti, F., S. Delagrangé, D. Bouffard et P. Nolet, 2008. *Establishment, survivorship, and growth of yellow birch seedlings after site preparation treatments in large gaps.* For. Ecol. Manage. 254: 350-361.
- Manitoba Conservation, 2010. *Manitoba forest regeneration survey manual.* Manitoba Conservation. Forestry Branch, Forest Health and Renewal. 29 p. + annexes. [[www.gov.mb.ca/conservation/forestry/pdf/renewal/regen\\_2010.pdf](http://www.gov.mb.ca/conservation/forestry/pdf/renewal/regen_2010.pdf)].
- Marquis, D.A., 1965. *Regeneration of birch and associated hardwoods after patch cutting.* U.S.D.A. Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station. Upper Darby, PA (États-Unis). Research paper NE-32. 13 p. [[www.fs.fed.us/ne/newtown\\_square/publications/research\\_papers/pdfs/scanned/rp32.pdf](http://www.fs.fed.us/ne/newtown_square/publications/research_papers/pdfs/scanned/rp32.pdf)].
- Marquis, D.A., 1987. *Assessing the adequacy of regeneration and understanding early development patterns.* Dans : Nyland, R.D. (Ed.). *Managing Northern Hardwoods. Proceedings of a Silvicultural Symposium.* 23-26 juin 1986. State University of New York (SUNY), College of Environmental Science and Forestry. Syracuse, NY (États-Unis). Miscellaneous Publication n° 13 (ESF 87-002), Soc. of American Foresters Publication N° 87-03.
- Morin, A., M. Beaudet, C. Messier, D. Kneeshaw et J.-C. Ruel, 2003. *Morphologie, croissance et survie des semis de bouleau jaune en parquets, 4 ans après coupe. Secteur du Lac Darey, Latuque, Aire commune 043-04.* Groupe de recherche en écologie forestière inter-universitaire, Université du Québec à Montréal. Montréal, Québec. 47 p.
- [MRN] Ministère des Ressources naturelles, 1998. *Manuel d'aménagement forestier 3<sup>e</sup> édition.* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction des programmes forestiers. 122 p.
- [MRN] Ministère des Ressources naturelles, 1999. *Méthodes d'échantillonnage pour les suivis des interventions forestières. Exercice 1999-2000.* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de l'assistance technique, Division des traitements sylvicoles. 201 p.
- [MRN] Ministère des Ressources naturelles, 2000. *Instructions relatives à l'application du règlement sur la valeur des traitements sylvicoles admissibles en paiement des droits. Exercice 2000-2001.* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de l'assistance technique, Division des traitements sylvicoles. 67 p.
- [MRN] Ministère des Ressources naturelles, 2002. *Instructions relatives à l'application du règlement sur la valeur des traitements sylvicoles admissibles en paiement des droits. Exercice 2002-03 (version 2001-02 révisée).* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de l'assistance technique, Division des traitements sylvicoles. 85 p.
- [MRN] Ministère des Ressources naturelles, 2003. *Méthodes d'échantillonnage pour les inventaires d'intervention (inventaire avant traitement) et pour les suivis des interventions forestières (après martelage, après coupe et années antérieures). Exercice 2003-04 (Version révisée).* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de l'assistance technique, Division des traitements sylvicoles. 285 p.
- [MRN] Ministère des Ressources naturelles, 2013. *Le guide sylvicole du Québec, Tome 2 – Les concepts et l'application de la sylviculture.* Ouvrage collectif sous la supervision de C. Larouche, F. Guillemette, P. Raymond et J.-P. Saucier. Les Publications du Québec. Québec, Québec. 709 p.
- [MRNF] Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 2005. *Instructions relatives à l'application du règlement sur la valeur des traitements sylvicoles admissibles en paiement des droits. Exercice 2005-2006.* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'assistance technique, Division des traitements sylvicoles. 109 p.
- [MRNF] Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 2007. *Méthode développée en vue de recueillir l'information nécessaire au suivi des interventions des années antérieures. Manuel d'aménagement forestier, 4<sup>e</sup> édition.* Produit le 21 février 2007. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction du soutien aux opérations Faune et Forêts. 36 p. [<https://mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/entreprises/methode-developpee.pdf>].

- [MRNFP] Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, 2003. *Manuel d'aménagement forestier 4<sup>e</sup> édition*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs. Code de diffusion : 2003-3063. 245 p. [[www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/amenagement/manuel.pdf](http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/amenagement/manuel.pdf)].
- Nyland, R.D., 2002. *Silviculture: concept and applications. 2<sup>nd</sup> edition*. McGraw-Hill. New York, NY (États-Unis). 682 p.
- Nyland, R.D., A.L. Bashant, E.F. Heitzman et J.M. Verosteck, 2007. *Interference to hardwood regeneration in northeastern North America: Pin cherry and its effects*. North. J. Appl. For. 24: 52-60.
- [OMNR] Ontario Ministry of Natural Resources, 1983. *Management of Tolerant Hardwoods in Algonquin Provincial Park*. Government of Ontario, Ministry of Natural Resources. Toronto, Ont. 72 p.
- Perala, D.A. et A.A. Alm, 1990a. *Regeneration silviculture of birch: a review*. For. Ecol. Manage. 32: 39-77.
- Perala, D.A. et A.A. Alm, 1990b. *Reproductive ecology of birch: a review*. For. Ecol. Manage. 32: 1-38.
- Prévost, M. et N. Thiffault, 2013. *Chapitre 8 – La préparation de terrain*. Dans : Ministère des Ressources naturelles, *Le guide sylvicole du Québec, Tome 2 – Les concepts et l'application de la sylviculture*. Ouvrage collectif sous la supervision de C. Larouche, F. Guillemette, P. Raymond et J.-P. Saucier. Les Publications du Québec. Québec, Québec. p. 134-157.
- Prévost, M., P. Raymond et J.-M. Lussier, 2010. *Regeneration dynamics after patch cutting and scarification in yellow birch - conifer stands*. Can. J. For. Res. 40: 357-369.
- Régnière, J. et R. Saint-Amant, 2008. *BioSIM 9: Manuel de l'utilisateur*. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Laurentides. Rapport d'information LAU-X-134. 68 p. [<http://cfs.nrcan.gc.ca/pubwarehouse/pdfs/28769.pdf>].
- Roberge, M.R., 1969. *Une synthèse de la sylviculture du bouleau jaune*. Forêt Conservation 35(6): 7-8.
- Roberge, M.R., 1977. *Influence of cutting methods on natural and artificial regeneration of yellow birch in Quebec northern hardwoods*. Can. J. For. Res. 7: 175-182.
- Robitaille, L. et M. Roberge, 1981. *La sylviculture du bouleau jaune au Québec*. Revue forestière française XXXIII (numéro spécial): 105-112.
- Ruel, J.-C. et M. Pineau, 1994. *La coupe à blanc par bandes et la coupe progressive : État actuel des connaissances*. Dans : Gouvernement du Canada, ministère des Ressources naturelles, Service canadien des forêts, Centre de Foresterie des Laurentides et Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière (éditeurs) : Compte-rendu du colloque ACFAS « La régénération de la zone de la forêt mixte » tenu le 19 mai 1994 à l'UQAM. Montréal, Québec. p. 31-43.
- Runkle, J.R., 1992. *Guidelines and sample protocol for sampling forest gaps*. U.S.D.A. Forest Service, Pacific Northwest Research Station. Portland, OR (États-Unis). General Technical Report PNW-GTR-283. 44 p. [<http://treesearch.fs.fed.us/pubs/9009>].
- Saucier, J.-P., Bergeron, J.-F., Grondin, P. et A. Robitaille, 1998. *Les régions écologiques du Québec méridional (3<sup>e</sup> version) : un des éléments du système hiérarchique de classification écologique du territoire mis au point par le ministère des Ressources naturelles du Québec*. Supplément de l'Aubelle. Février-mars 1998. 12 p.
- SAS Institute Inc., 2010. *SAS/STAT® 9.22 User's Guide*. SAS Institute Inc. Cary, NC (États-Unis). 8 460 p.
- 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: 293-307.
- Thiffault, N. et F. Hébert, 2013. *Chapitre 13 – Le dégagement et le nettoyage*. Dans : Ministère des Ressources naturelles, *Le guide sylvicole du Québec, Tome 2 – Les concepts et l'application de la sylviculture*. Ouvrage collectif sous la supervision de C. Larouche, F. Guillemette, P. Raymond et J.-P. Saucier. Les Publications du Québec. Québec, Québec. p. 244-271.
- Tubbs, C.H., 1969. *The influence of light, moisture, and seedbed on yellow birch regeneration*. U.S.D.A. Forest Service, North Central Forest Experiment Station. St. Paul, MN (États-Unis). Research paper NC-27. 12 p. [[www.treesearch.fs.fed.us/pubs/10548](http://www.treesearch.fs.fed.us/pubs/10548)].



- Tubbs, C.H., 1977. *Manager's handbook for northern hardwoods in the north-central states*. U.S.D.A. For. Service, North Central Forest Experiment Station. St. Paul, MN (États-Unis). General Technical Report NC-39. 29 p. [[www.nrs.fs.fed.us/pubs/104](http://www.nrs.fs.fed.us/pubs/104)].
- Tubbs, C.H. et R.R. Oberg, 1966. *Growth response of seedling yellow birch to humus-soil mixtures*. U.S.D.A. Forest Service, North Central Forest Experiment Station. St. Paul, MN (États-Unis). Research Note NC-6, 2 p. [[www.treeseearch.fs.fed.us/pubs/11076](http://www.treeseearch.fs.fed.us/pubs/11076)].
- [USDA] United States Department of Agriculture, 2010. *Forest inventory and analysis national core field guide: field data collection procedures for phase 2 plots. Version 5.0*. U.S.D.A. Forest Service, Northern Research Station. 361 p. [[www.fia.fs.fed.us/library/field-guides-methods-proc/docs/Complete%20FG%20Document/NRS%20FG%205.0-Oct%202010-Complete%20Document.pdf](http://www.fia.fs.fed.us/library/field-guides-methods-proc/docs/Complete%20FG%20Document/NRS%20FG%205.0-Oct%202010-Complete%20Document.pdf)].
- Wagner, R.G. et S.J. Colombo, 2001. *Regenerating the Canadian forest – Principles and practice for Ontario*. Ontario Ministry of Natural Resources and Fitzhenry & Whiteside Limited. Markham, ON. 650 p.
- Wang, B.S.P., 1965. *Seedbed, canopy and moisture effects on growth of yellow birch seedlings*. For. Chron. 41: 106-107.
- Ward, J.S. et G.R. Stephens, 1997. *Survival and growth of yellow birch (Betula alleghaniensis) in southern New England*. Can. J. For. Res. 27: 156-165.
- Webster, C.R. et C.G. Lorimer, 2005. *Minimum opening sizes for canopy recruitment of mid-tolerant tree species: a retrospective approach*. Ecol. Appl. 15: 1245-1262.
- 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 (États-Unis). 416 p.
- Willis, G.L. et J.A. Johnson, 1978. *Regeneration of yellow birch following selective cutting of old-growth northern hardwoods*. Michigan Technological University, Ford Forestry Center. L'Anse, MI (États-Unis). Research Note n° 26. 13 p. [[http://fordforest.mtu.edu/pubs/research\\_notes/Note26.pdf](http://fordforest.mtu.edu/pubs/research_notes/Note26.pdf)].
- Zarnovican, R., 1998. *Éclaircie précommerciale dans une jeune érablière à bouleau jaune : résultats après 10 ans*. Ressources Naturelles Canada, Service canadien des forêts, Sainte-Foy (Québec). Rapport d'information LAU-X-123F. 19 p. [<http://scf.rncan.gc.ca/publications?id=16808>].
- Zarnovican, R., 2001. *Glaze damage in a young yellow birch stand in southern Québec, Canada*. North. J. Appl. For. 18: 14-18.



## Annexe

Abréviations des noms d'espèces et des groupes d'espèces

Abréviation	Nom commun	Nom latin
AME	Amélanchier sp.	<i>Amelanchier</i> sp.
AUNC	Autres espèces non commerciales	
BOJ	Bouleau jaune	<i>Betula alleghaniensis</i> Britton
BOP	Bouleau à papier	<i>Betula papyrifera</i> Marsh.
CHR	Chêne rouge	<i>Quercus rubra</i> L.
COC	Noisetier à long bec	<i>Corylus cornuta</i> Marsh.
EPX	Épinettes	<i>Picea</i> sp.
ERE	Érable à épis	<i>Acer spicatum</i> Lamb.
ERP	Érable de Pennsylvanie	<i>Acer pensylvanicum</i> L.
ERR	Érable rouge	<i>Acer rubrum</i> L.
ERS	Érable à sucre	<i>Acer saccharum</i> Marsh.
FEU	Feuillus (autres)	
GRS	Graminées	
HEG	Hêtre à grandes feuilles	<i>Fagus grandifolia</i> Ehrh.
HES	Herbacées	
MOS	Mousses	
PEU	Peupliers	<i>Populus</i> sp.
PIB	Pin blanc	<i>Pinus strobus</i> L.
PRP	Cerisier de Pennsylvanie	<i>Prunus pennsylvanica</i> L. f.
PRU	Pruche	<i>Tsuga canadensis</i> (L.) Carr.
PRV	Cerisier de Virginie	<i>Prunus virginiana</i> var. <i>virginiana</i> L.
RES	Résineux (autres)	
RUI	Framboisier	<i>Rubus idaeus</i> L.
SAB	Sapin baumier	<i>Abies balsamea</i> (L.) Mill.
SAL	Saules	<i>Salix</i> sp.
SAP	Sureau pubescent	<i>Sambucus pubens</i> Mich.
SOA	Sorbier d'Amérique	<i>Sorbus americana</i> Marsh.
SPS	Sphaignes	
TAC	If du Canada	<i>Taxus canadensis</i> Marsh.
THO	Thuja occidentale	<i>Thuja occidentalis</i> L.
VIL	Viorne à feuilles d'aulne	<i>Viburnum lantanoides</i> Michx.



Le ministère des Ressources naturelles 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 pour déterminer la possibilité forestière ainsi que les modalités d'application des traitements sylvicoles. Pour répondre à ces objectifs, la Direction de la recherche forestière a un projet de mesure des effets réels des coupes de jardinage par trouées et des coupes de jardinage avec régénération par parquets. Ce mémoire de recherche forestière présente les résultats des 5 premières années de suivi du dispositif de mesure des effets réels de ces deux traitements sylvicoles, tels qu'ils ont été appliqués de 2000 à 2005 dans les peuplements feuillus et mixtes de plusieurs régions du Québec méridional.

**Ressources  
naturelles**

**Québec** 