

**Établissement de la régénération en bouleau jaune après un essai
opérationnel de diverses méthodes de scarifiage intégré aux opérations
de récolte dans les trouées**

Rapport de projet volet 1 produit et rédigé par :

Daniel Bouffard, M.Sc.

Philippe Nolet, M.Sc.



**Institut Québécois d'Aménagement
de la Forêt Feuillue**

Présenté à:

Simon Lussier inc.

FORÊT QUÉBEC

Unité de gestion de la Rouge-Mattawin (62-02)

Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier

JANVIER 2002

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier spécialement Éric Caya de Ressources forestières biotiques pour l'appui technique et professionnel apporté tout au cours du projet. Ce projet a été réalisé grâce au Programme de Mise en Valeur du Milieu Forestier (Volet 1) en association avec Simon Lussier inc. et l'Unité de Gestion de la Rouge-Mattawin (62-02). Nous remercions également Régis Pouliot pour le travail efficace et consciencieux sur le terrain ainsi que Mikäï lou Sy pour son apport indispensable lors de l'analyse des données.

Résumé

Le choix d'une méthode efficace de scarifiage pour la régénération du bouleau jaune est d'une grande importance économique pour les industriels forestiers et il est nécessaire d'y répondre rapidement, car les coupes par trouées font partie intégrante du dernier plan quinquennal d'aménagement de plusieurs aires communes en forêt feuillue. Un premier projet, réalisé par l'IQAFF en 2001, avait pour but de comparer les techniques de scarifiage par peigne et de scarifiage par retrait des déchets sur deux points: *i)* leur efficacité dans l'atteinte de l'objectif de régénération par les coupes de jardinage avec trouées; et *ii)* leur acceptabilité économique. La seconde étape, le présent projet, a consisté à vérifier la réponse des semis de bouleau jaune après la réalisation des divers types de scarifiage. Pour ce faire, les méthodes de scarifiage par peigne, par retrait des déchets et aucune activité de scarifiage (témoin) ont été testées. En tout, 30 trouées ont constitué les unités expérimentales principales d'un dispositif en tiroir. Lors de la récolte de la matière ligneuse dans ces trouées, chacun des trois types de scarifiage sélectionné a été testé à dix reprises. La nature du lit de germination a constitué l'unité expérimentale secondaire. Le sol minéral, le mélange humus et sol minéral, l'humus, l'humus perturbé et le bois en décomposition ont représenté les types de lit de germination priorisés dans cette étude. Le stocking en semis de bouleau jaune a été calculé pour chaque type de lit de germination dans chacune des trouées. La hauteur des semis a été mesurée sur cinq individus dans 50 % des placettes. Nos résultats indiquent que le stocking moyen en semis de bouleau jaune augmente avec l'accroissement du contenu en matière minérale du lit de germination, si l'on excepte le bois en décomposition. Il est toujours supérieur à 55% sur bois décomposé, humus-minéral et sol minéral alors qu'il ne dépasse jamais 40 % sur les lits de germination dominés par l'humus. Le stocking moyen observé sur humus perturbé ou bois décomposé varie selon la méthode de scarifiage pratiquée, ce qui n'est pas le cas pour les autres substrats. Le scarifiage par peigne et le scarifiage par retrait des déchets ont tous deux un impact positif et similaire sur la croissance en hauteur des semis de bouleau jaune. La hauteur moyenne des semis est optimale sur humus-minéral et minimale sur bois décomposé. Elle est au minimum deux fois plus élevée sur humus-minéral que sur humus ou bois en décomposition. La hauteur maximale moyenne est significativement plus élevée dans les trouées scarifiées. Elle est toujours inférieure à 5 cm pour les lits de germination composés entièrement de matière organique. Elle est supérieure à 5 cm lorsque la matière organique est absente ou ne prédomine pas, à l'exception du sol minéral dans les trouées témoins. La préparation du parterre de coupe contribue à favoriser l'obtention de conditions idéales pour la germination en mélangeant l'humus au sol minéral, mais elle supprime également la régénération établie susceptible d'opprimer les semis de bouleau jaune. Les résultats probants de notre étude semblent justifier l'utilisation du scarifiage puisqu'il engendre un gain de croissance chez les semis de bouleau jaune, lequel découle directement de l'augmentation du nombre de micro-sites de bonne qualité dans les trouées scarifiées. La différence n'est cependant pas significative entre les deux types de scarifiage. Par conséquent, la méthode de scarifiage la plus rapide et la moins onéreuse, c'est-à-dire le scarifiage par retrait des déchets, doit être privilégiée. Les semis de bouleau jaune n'ayant été mesurés qu'après une saison de croissance, un suivi à cette étude s'impose donc afin de déterminer si l'effet du scarifiage est durable et dans quel mesure la compétition herbacée profitera de ce traitement sylvicole.

Table des matières

Remerciements	i
Résumé	ii
Table des matières	iii
Liste des tableaux	iv
Liste des figures	v
Introduction	6
Méthodologie	8
Résultats	11
Stocking moyen en semis de bouleau jaune.....	11
Hauteur moyenne des semis de bouleau jaune après une saison de croissance	13
Hauteur maximale moyenne des semis de bouleau jaune après une saison de croissance ...	16
Discussion	19
Conclusion et recommandations de l'étude	23
Références citées	26
Annexe	27

Liste des tableaux

Tableau 1. Description sommaire des cinq types de lits de germination étudiés.....	9
Tableau 2. Analyse de la variance pour le stocking moyen en semis de bouleau jaune après une saison de croissance selon la nature du lit de germination et le type de scarifiage	11
Tableau 3. Valeurs du stocking moyen en semis de bouleau jaune pour chaque type de scarifiage et lit de germination.....	11
Tableau 4. Résultats de l'application des contrastes orthogonaux aux lits de germination et types de scarifiage pour le stocking moyen en semis de bouleau jaune après une saison de croissance	13
Tableau 5. Analyse de la variance pour la hauteur moyenne des semis de bouleau jaune après une saison de croissance selon la nature du lit de germination et le type de scarifiage	14
Tableau 6. Hauteur moyenne et hauteur maximale moyenne des semis de bouleau jaune après une saison de croissance selon la nature du lit de germination et le type de scarifiage. Résultats interprétés du test LSD protégé de Fisher.....	15
Tableau 7. Analyse de la variance pour la hauteur maximale moyenne des semis de bouleau jaune après une saison de croissance selon la nature du lit de germination et le type de scarifiage.....	17

Liste des figures

Figure 1. Stocking moyen en semis de bouleau jaune après une saison de croissance selon la nature du lit de germination et le type de scarifiage.....	12
Figure 2. Hauteur moyenne des semis de bouleau jaune après une saison de croissance selon le type de scarifiage effectué dans les trouées (tous types de lit de germination confondus).....	14
Figure 3. Hauteur moyenne des semis de bouleau jaune après une saison de croissance selon la nature du lit de germination (tous types de scarifiage confondus).....	16
Figure 4. Hauteur maximale moyenne des semis de bouleau jaune après une saison de croissance selon la nature du lit de germination et le type de scarifiage.....	18
Figure 5. Photo de bois décomposé.....	27
Figure 6. Photo d'humus "perturbé" par la machinerie (côté droit de la photo) et par le peigne (côté gauche de la photo).....	27
Figure 7. Photo d'un sol minéral (partie inférieure gauche) et d'un mélange humus et sol minéral (partie droite).....	28
Figure 8. Photo d'un mélange de sol minéral et humus dans une micro-dépression. Présence de semis au stade de cotylédons.....	28
Figure 9. Photo d'humus intact (non perturbé) en bordure d'une trouée scarifiée par peigne....	29
Figure 10. Photo d'une trouée témoin.....	29
Figure 11. Photo d'une trouée scarifiée par retrait des déchets.....	30
Figure 12. Photo d'une trouée scarifiée au peigne.....	30

Introduction

La dernière version du manuel d'aménagement forestier (MRN, 1998) propose l'utilisation de coupes de jardinage par trouées pour régénérer les essences peu tolérantes. Les instructions relatives au manuel « Méthodes d'échantillonnage pour les suivis des interventions forestières » (MRN, 2001) spécifient qu'une mise à nu du sol minéral doit être effectuée afin d'assurer une régénération adéquate. Cette dernière spécification amène deux questions :

- La mise à nu du sol minéral constitue-t-elle la meilleure façon de favoriser la régénération du bouleau jaune?
- Quel type de machinerie devrait-on utiliser pour effectuer le scarifiage et comment intégrer celui-ci aux opérations de récolte dans les trouées?

En fait, quoique la plupart des forestiers s'accordent pour dire qu'une mise à nu du sol augmente le potentiel d'établissement des semis, plusieurs s'interrogent sur le potentiel qu'offre un horizon minéral pour la croissance ultérieure de ces mêmes semis. Le choix d'une méthode de scarifiage efficace est d'une grande importance économique pour les industriels forestiers et il est nécessaire d'y répondre rapidement, car les coupes par trouées font partie intégrante du dernier plan quinquennal d'aménagement de plusieurs aires communes en forêt feuillue.

Un premier projet, réalisé par l'IQAFF en 2001, avait pour but de comparer les techniques de scarifiage par peigne et de scarifiage par retrait des déchets sur deux points: *i*) leur efficacité dans l'atteinte de l'objectif de régénération par les coupes de jardinage avec trouées; et *ii*) leur acceptabilité économique (Nolet et Poirier, 2001). Les résultats de cette étude se résument ainsi :

- Le scarifiage par retrait des déchets est à la fois plus rapide et moins onéreux que le scarifiage avec peigne; il présente toutefois une plus grande variabilité dans le temps d'exécution.

-
- Les proportions des types de lits de germination dans les trouées varient nettement entre le scarifiage par peigne et le scarifiage par retrait des déchets. Les plus grands pourcentages des types "sol minéral mis à nu" et "humus-minéral" se trouvent dans les parcelles soumises à un scarifiage plus intense, c'est-à-dire un scarifiage au peigne. La proportion de ces deux types de lits de germination diminue dans le scarifiage par retrait des déchets pour être presque négligeable dans les trouées témoins. C'est l'inverse pour le type "humus", peu fréquent dans les trouées scarifiées par peigne, davantage présent dans celles soumises au scarifiage par retrait des déchets et encore plus abondant dans les parcelles témoins.

 - Le nombre de micro-sites de bonne qualité crée pour la germination du bouleau jaune est sensiblement le même à partir du scarifiage par peigne et du scarifiage par retrait des déchets. La situation est différente dans les trouées témoins où on observe moins de micro-sites de bonne qualité, mais davantage de micro-sites de moyenne qualité. En revanche, la perturbation du sol causée par la récolte ligneuse réalisée à l'automne dans les trouées témoins crée une quantité suffisante de micro-sites de bonne qualité pour assurer la régénération du bouleau jaune.

Les semis de l'année n'ayant pas été inventoriés dans le cadre de ce premier projet, la relation établie par le biais de la littérature entre la nature du lit de germination et le potentiel d'établissement, la survie et la croissance du bouleau jaune demeurent à valider. Le présent projet vise donc à vérifier la réponse des semis de bouleau jaune aux différents types de scarifiage. Pour atteindre ce but, la distribution spatiale (stocking) des semis a été étudiée en tenant compte de la nature du lit de germination et du type de scarifiage. Le suivi de la croissance en hauteur des semis a également permis d'identifier les lits de germination offrant le meilleur potentiel pour le développement.

Méthodologie

Le secteur d'étude est localisé à 58 km au nord de Saint-Michel-des-Saints, au sud de l'unité de paysage du Lac Laverdière définie par Robitaille et Saucier (1998), laquelle fait partie du domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune. Cette unité est caractérisée principalement par des tills épais qui recouvrent plus de la moitié de la superficie totale et par la présence de dépôts juxtaglaciaires. Le relief est modérément accidenté et formé de collines aux sommets arrondis et aux versants en pente modérée. L'altitude moyenne, plus élevée que celle des unités voisines, est de 520 m. La végétation potentielle des sites mésiques de milieu de pente est la bétulaie jaune à sapin. Les sommets bien drainés sont colonisés par l'érablière à bouleau jaune (Robitaille et Saucier, 1998).

Sur ce territoire, un dispositif expérimental en tiroir de premier niveau a été mis en place dans des peuplements BjR(F) B3 70 et ErBj B2 70. Les unités expérimentales principales du dispositif définissent les trouées dans lesquelles différents types de scarifiage ont été réalisés lors de l'été 2000 (Nolet et Poirier, 2001). Ces trouées, au nombre de 30, ont toutes été établies dans des conditions écologiques semblables. Elles sont d'une forme carrée et ont une superficie approximative de 1000 m² chacune. Après la récolte de la matière ligneuse, 10 de ces trouées ont été scarifiées à l'aide d'un peigne alors que les déchets étaient déplacés en périphérie dans 10 autres. De plus, 10 trouées ont été laissées intactes afin de servir de témoin. La répartition des trouées a été réalisée par l'aménagiste forestier et on suppose qu'elle est aléatoire. La répartition des traitements (types de scarifiage) à l'intérieur des trouées a été également effectuée de façon aléatoire.

L'unité expérimentale secondaire du dispositif correspond à la nature du lit de germination. Les principaux types de lits de germination ont été précédemment identifiés à l'aide d'une revue de littérature (Nolet et Poirier, 2001). Des 12 types de lits de germination répertoriés, seulement ceux présentant un niveau de qualité globale (établissement, survie et croissance) moyen à bon ont été retenus. Le sol minéral (m), le mélange humus et sol minéral (hm), l'humus (h), l'humus perturbé (hp) et le bois décomposé (bd) constituent donc les

Tableau 1. Description sommaire des cinq types de lit de germination étudiés

<i>Types de lit de germination</i>	<i>Description des conditions physiques du sol</i>
Bois décomposé	Souches et rondins en décomposition.
Humus perturbé	Humus dont la structure est altérée par le passage ou l'action de la machinerie; humus détaché du sol minéral.
Humus-minéral	Mélange d'humus et de sol minéral issu du scarifiage du sol.
Humus	Ensemble des résidus végétaux et animaux, plus ou moins décomposés, à la surface du sol minéral.
Sol minéral	Mise à nu du sol minéral par le retrait de l'humus.

cinq catégories priorisées dans cette étude. Une description sommaire de ces catégories est présentée au tableau 1 et une photographie prise sur le terrain pour chaque type de lit de germination se retrouve également en annexe (Figures 5 à 9).

La détermination du nombre de placettes à inventorier a été faite de manière à ce que l'échantillon prélevé soit suffisamment grand pour offrir la précision désirée. Ainsi, 50 placettes circulaires de 30 cm de diamètre (cinq types de lit de germination x dix répétitions) ont été distribuées de la façon suivante dans chacune des trouées, et ce pour les trois types de scarifiage:

- ❑ Le centre de la trouée a d'abord été déterminé.
- ❑ Les placettes ont par la suite été localisées sur des virées établies à partir de l'axe central de la trouée. Un angle de 36° séparait chacune des virées. L'orientation de la première virée était déterminée de façon aléatoire. Au besoin, on pouvait intercaler des virées supplémentaires entre les virées déjà existantes. Chaque type de lit de germination ne pouvait être représenté qu'une seule fois par virée. Le type de lit de germination devait également être dominant dans la surface occupée par la placette.
- ❑ Le point de départ sur une virée devait être situé à deux mètres et plus du point central afin d'éviter le piétinement autour de cette zone. Une fois le point de départ établi sur la virée, le type de lit de germination a été examiné tous les deux mètres et une placette échantillon mise en place pour chaque type de lit de germination rencontré et

prorisé dans cette étude. Les placettes échantillons ont été identifiées en leur centre par une tige métallique portant un numéro.

Dans chacune des placettes, la présence ou l'absence de semis de bouleau jaune et de bouleau à papier ont été notées. Le stocking en semis de bouleau jaune a été calculé pour chaque type de lit de germination à l'intérieur de chacune des trouées de la façon suivante: nombre de placettes où était présent au moins un semis de bouleau jaune divisé par le nombre total de placettes (10). Le marquage jusqu'à cinq semis vigoureux de bouleau jaune ainsi que le mesurage de leur hauteur ont été effectués dans 50% des placettes, ces dernières étant choisies de façon aléatoire pour chaque type de lit de germination. Par la suite, la hauteur moyenne a été calculée pour chacune de ces placettes. Il en est de même avec la hauteur maximale moyenne qui a été calculée en utilisant le semis de bouleau jaune le plus vigoureux. L'utilisation de la variable dépendante "hauteur maximale moyenne" nous a permis de mieux cerner l'impact du scarifiage et de la nature du lit de germination sur le développement des semis de bouleau jaune, et ce en minimisant l'effet du moment de la germination des semences au cours de la saison de croissance.

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel Statistical Analysis System (version 8.1) du SAS Institute Inc., Cary, NC, USA. L'ANOVA et les contrastes orthogonaux pour comparaisons d'intérêt constituent les principales analyses effectuées. L'absence de semis de bouleau jaune dans de nombreuses placettes situées sur humus, humus perturbé ou encore bois décomposé a résulté en un grand nombre de données manquantes lors de l'application de l'analyse statistique aux variables dépendantes hauteur moyenne et hauteur maximale moyenne. Ceci a pour conséquence l'élimination des degrés de liberté rattachés à l'erreur et rend certains contrastes orthogonaux non évaluables par SAS. Ceux-ci peuvent être calculés à la main mais cela demeure un travail long et fastidieux. Dans le but de pallier à cette situation, nous avons fait appel à un test de comparaison de moyennes, même si cela n'est pas recommandé dans le cas d'un dispositif en tiroir, afin de déterminer du moins les grandes tendances. Notre choix s'est arrêté sur le test LSD protégé de Fisher. Les résultats interprétés de ces comparaisons sont présentés de façon à montrer les groupements statistiquement différents.

Résultats

Stocking moyen en semis de bouleau jaune

L'analyse de la variance du stocking moyen en semis de bouleau jaune après une saison de croissance nous indique qu'il n'y a aucune différence significative entre les trois types de scarifiage au seuil α de 0.05. Cependant, il est bon de noter que l'effet du scarifiage sur le stocking moyen pourrait être positif avec un seuil α plus élevé (Tableau 2). Le stocking moyen le moins élevé est observé dans les trouées scarifiées par retrait des déchets. Les trouées témoins et les trouées scarifiées par peigne présentent un niveau similaire de distribution spatiale (Tableau 3). L'erreur-type est identique pour les trois types de scarifiage.

Tableau 2. Analyse de la variance pour le stocking moyen en semis de bouleau jaune après une saison de croissance selon la nature du lit de germination et le type de scarifiage ($\alpha=0.05$)

<i>Source de variation</i>	<i>D.l.</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité > F</i>
Types de scarifiage	2	0.1006	2.80	0.0925
Erreur (a)	15	0.0359		
Types de lit de germination	4	2.6062	199.10	0.0001
Scarifiage*Lit	8	0.0348	2.66	0.0145
Erreur (b)	60	0.0131		

Tableau 3. Valeurs du stocking moyen en semis de bouleau jaune pour chaque type de scarifiage et de lit de germination

<i>Stocking moyen (%) et erreur-type</i>	
<i>Types de scarifiage</i>	
Retrait des déchets	49 ± 7
Peigne	57 ± 7
Témoin	60 ± 7
<i>Types de lit de germination</i>	
Humus	7 ± 3
Humus perturbé	22 ± 4
Bois décomposé	75 ± 4
Humus-minéral	76 ± 5
Minéral	95 ± 2

Le stocking moyen augmente avec l'accroissement du contenu en matière minérale du lit de germination, si l'on excepte le type "bois décomposé" (Figure 1). Le stocking moyen en semis de bouleau jaune est toujours supérieur à 55% sur bois décomposé, humus-minéral et sol minéral alors qu'il ne dépasse jamais 40% sur les lits de germination dominés par l'humus (Figure 1). Les valeurs moyennes du stocking pour chaque type de lit de germination sont présentées au tableau 3. L'analyse de la variance du stocking moyen en semis de bouleau jaune indique également la présence d'une interaction entre les types de scarifiage et la nature du lit de germination. Le stocking moyen des types de lit de germination constitués d'humus perturbé ou

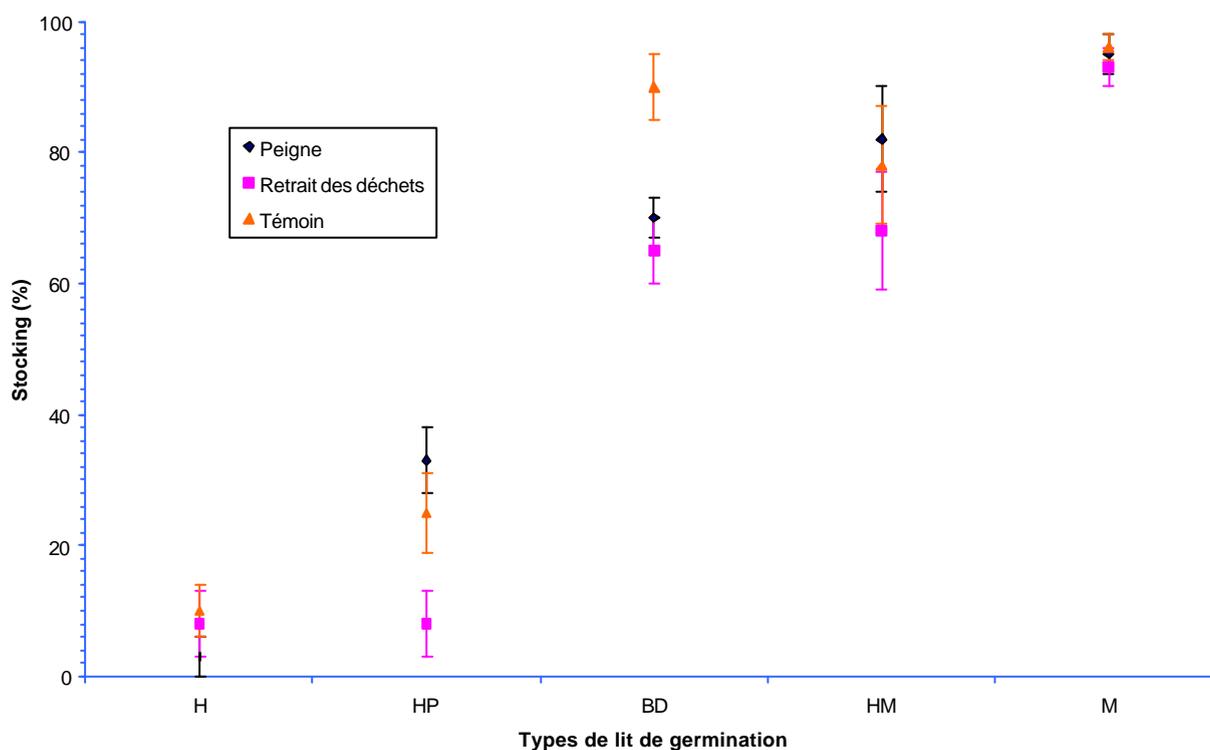


Figure 1. Stocking moyen en semis de bouleau jaune après une saison de croissance selon la nature du lit de germination et le type de scarifiage. Les barres d'erreur indiquent l'intervalle de confiance à 95%. (H=humus, HP=humus perturbé, BD=bois décomposé, HM=humus-minéral et M=minéral).

de bois décomposé varie selon la méthode de scarifiage pratiquée (Figure 1). En effet, la matière ligneuse en décomposition a un stocking moyen supérieur dans les trouées témoins à celui observé dans les trouées scarifiées soit par peigne ou par retrait des déchets. À un autre niveau, l'humus perturbé présente un stocking moyen plus faible dans les trouées scarifiées par retrait des déchets comparativement aux trouées témoins ou aux trouées scarifiées par peigne. L'application des contrastes orthogonaux aux types de lit de germination permet d'arriver aux conclusions suivantes: *i*) les lits minéraux (hm,m) présentent un stocking beaucoup plus élevé que les lits non minéraux (h,hp,bd); *ii*) le sol minéral (m) a un meilleur stocking que l'humus-minéral (hm); et *iii*) le bois décomposé (bd) offre un excellent milieu de germination pour les semis de bouleau jaune comparativement à l'humus (h,hp) (Tableau 4).

Tableau 4. Résultats de l'application des contrastes orthogonaux aux lits de germination et types de scarifiage pour le stocking moyen en semis de bouleau jaune après une saison de croissance ($\alpha=0.05$)

<i>Contrastes orthogonaux</i>	<i>D.l.</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité > F</i>
Types de scarifiage				
Témoin vs Scarifié	1	0.1051	2.93	0.1076
Peigne vs Retrait des déchets	1	0.0960	2.67	0.1228
Types de lit de germination				
Minéral vs Non minéral	1	5.5460	423.67	< 0.0001
Minéral vs Humus-minéral	1	0.3164	24.17	< 0.0001
Humus vs Non humus	1	5.3451	408.33	< 0.0001
Humus vs Bois décomposé	1	4.3601	333.08	< 0.0001

Hauteur moyenne des semis de bouleau jaune après une saison de croissance

L'analyse de la variance pour la hauteur moyenne des semis de bouleau jaune après une saison de croissance met en évidence des différences significatives entre les trois types de scarifiage (Tableau 5). En fait, le scarifiage par peigne et le scarifiage par retrait des déchets semblent avoir tous deux un impact positif et similaire sur la croissance en hauteur des semis (Figure 2 et Tableau 6).

Tableau 5. Analyse de la variance pour la hauteur moyenne des semis de bouleau jaune après une saison de croissance selon la nature du lit de germination et le type de scarifiage ($\alpha=0.05$)

Source de variation	D.l.	Carré moyen	F	Probabilité > F
Types de scarifiage	2	20.1825	4.52	0.0291
Erreur (a)	15	4.4683		
Types de lit de germination	4	103.6629	17.59	< .0001
Scarifiage*Lit	8	6.5344	1.11	0.3751
Erreur (b)	46	5.8936		

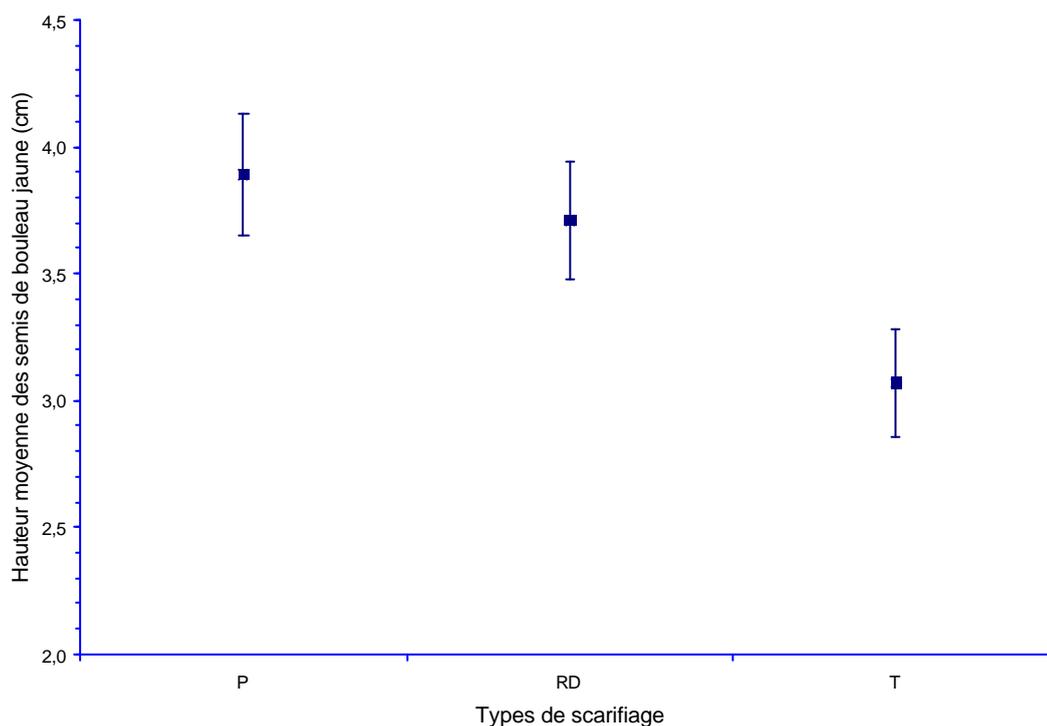


Figure 2. Hauteur moyenne des semis de bouleau jaune après une saison de croissance selon le type de scarifiage effectué dans les trouées (tous types de lit de germination confondus). Les barres d'erreur indiquent l'intervalle de confiance à 95%. (P=peigne, RD=retrait des déchets et T=témoin).

Tableau 6. Hauteur moyenne et hauteur maximale moyennes des semis de bouleau jaune après une saison de croissance selon la nature du lit de germination et le type de scarifiage. Résultats interprétés du test LSD protégé de Fisher ($\alpha=0.05$; intervalle de confiance de 95%)

<i>Types de scarifiage</i>				
	Hauteur moyenne (cm)		Hauteur moyenne maximale (cm)	
	Moyenne \pm erreur-type	Comparaison	Moyenne \pm erreur-type	Comparaison
Peigne (p)	3.89 \pm 0.24	t	5.96 \pm 0.43	t
Retrait déchets (rd)	3.71 \pm 0.23	t	5.38 \pm 0.38	t
Témoin (t)	3.07 \pm 0.21	rd, p	4.32 \pm 0.32	rd, p
<i>Types de lit de germination</i>				
	Hauteur moyenne (cm)		Hauteur moyenne maximale (cm)	
	Moyenne \pm erreur-type	Comparaison	Moyenne \pm erreur-type	Comparaison
Bois décomposé (bd)	2.09 \pm 0.14	hm, m, hp	2.86 \pm 0.21	hm, m
Humus (h)	2.30 \pm 0.50	hm, m	4.50 \pm 1.44	hm
Humus perturbé (hp)	2.96 \pm 0.33	hm, m, bd	3.60 \pm 0.43	hm, m
Minéral (hm)	3.88 \pm 0.19	hm, hp, h, bd	5.78 \pm 0.32	hm, hp, bd
Humus-minéral (m)	5.16 \pm 0.31	m, hp, h, bd	7.94 \pm 0.52	m, h, hp, bd

D'après les résultats de l'analyse de la variance pour la hauteur moyenne, les types de lit de germination sont significativement différents entre eux (Tableau 5). La croissance en hauteur des semis de bouleau jaune est optimale sur humus-minéral selon le seul contraste orthogonal que le logiciel SAS peut calculer ($P=0.0013$). Les groupes de traitement statistiquement différents selon le test LSD protégé de Fisher appliqué aux catégories de lit de germination et types de scarifiage sont présentés au tableau 6. L'interprétation de ces résultats ne peut être utilisée que pour cerner les principales tendances.

Selon la figure 3, la hauteur moyenne atteinte par les semis poussant sur des lits à dominance d'humus est moins élevée que celle observée sur des lits où abonde la matière minérale. Toujours selon cette figure, la croissance en hauteur sur la matière ligneuse en décomposition semble toujours inférieure à celle observée sur humus perturbé. En outre, la croissance en hauteur des semis de bouleau jaune est au moins deux fois plus importante sur le mélange humus et sol minéral que sur de l'humus pur ou de la matière ligneuse en décomposition (Tableau 6). La hauteur moyenne des semis poussant sur la matière ligneuse en

décomposition est similaire à celle observée sur de l'humus pur avec toutefois une variabilité beaucoup plus faible. La croissance en hauteur des semis sur le type "humus-minéral" est supérieure de 33 % à celle observée sur du sol minéral. Enfin, l'humus pur présente la plus grande variabilité et le sol minéral la croissance la plus régulière (Figure 3).

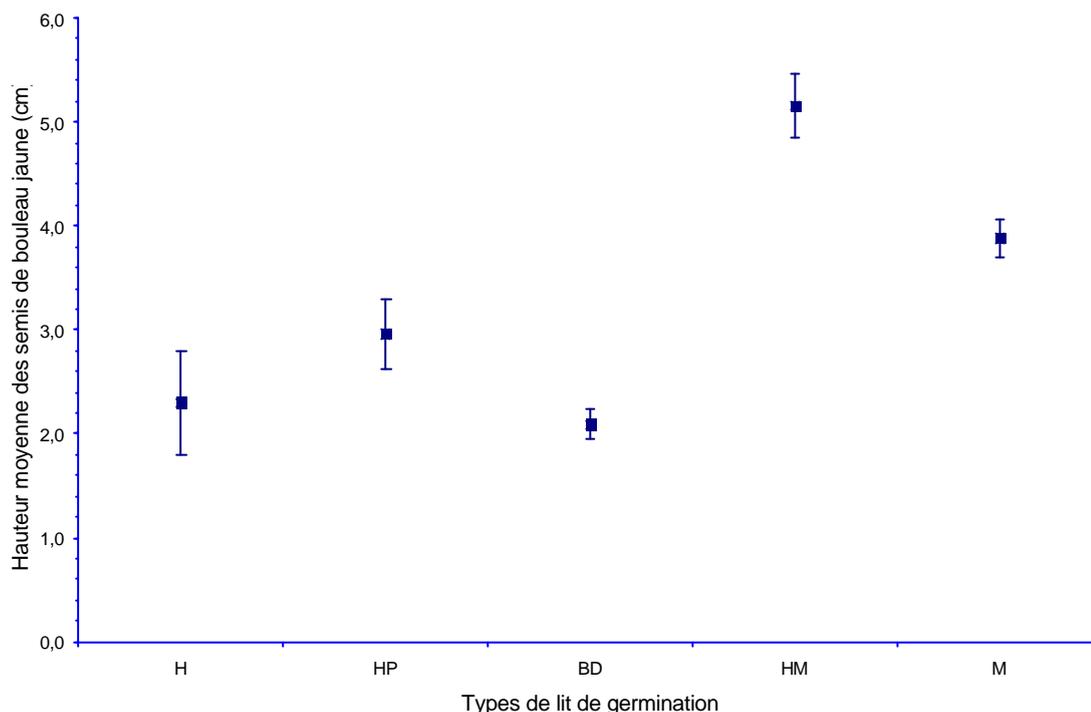


Figure 3. Hauteur moyenne des semis de bouleau jaune après une saison de croissance selon la nature du lit de germination (tous types de scarifiage confondus). Les barres d'erreur indiquent l'intervalle de confiance à 95%. (H=humus, HP=humus perturbé, BD=bois décomposé, HM=humus-minéral et M=minéral).

Hauteur maximale moyenne des semis de bouleau jaune après une saison de croissance

L'analyse de la variance pour la hauteur maximale moyenne des semis de bouleau jaune après une saison de croissance montrent que les types de scarifiage sont significativement différents entre eux (Tableau 7). Le scarifiage par peigne procure une hauteur maximale moyenne des semis plus élevée que le scarifiage par retrait des déchets alors que les trouées témoins montrent une valeur beaucoup plus faible.

Tableau 7. Analyse de la variance pour la hauteur maximale moyenne des semis de bouleau jaune après une saison de croissance selon la nature du lit de germination et le type de scarifiage ($\alpha=0.05$)

<i>Source de variation</i>	<i>D.l.</i>	<i>Carré moyen</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité > F</i>
Scarifiage	2	137.6975	10.72	0.0013
Erreur (a)	15	12.8393		
Lit de germination	4	280.9272	18.32	< .0001
Scarifiage*Lit	8	39.1726	2.56	0.0215
Erreur (b)	46	15.3312		

En ce qui concerne les lits de germination, ils sont significativement différents entre eux. On obtient la hauteur maximale moyenne des semis la plus élevée sur le mélange humus et sol minéral et la plus faible sur la matière ligneuse en décomposition. La variabilité est importante pour l'humus pur et faible pour le sol minéral.

L'analyse de la variance pour la hauteur maximale moyenne indique également la présence d'une interaction significative entre le type de scarifiage et la nature du lit de germination (Tableau 7 et Figure 4). La hauteur maximale moyenne des semis est toujours inférieure à 5 cm pour les lits de germination composés entièrement de matière organique. Elle est supérieure à 5 cm lorsque la matière organique est absente ou ne prédomine pas, à l'exception des lits de germination du type minéral dans les trouées témoins. Ces conclusions sont confirmées par le test LSD protégé de Fisher dont les interprétations sont présentées au tableau 6. Les résultats obtenus sont similaires à ceux observés pour la hauteur moyenne à l'exception de la matière ligneuse en décomposition et de l'humus, qui ne diffèrent pas, respectivement, de l'humus perturbé et du sol minéral. D'après le seul contraste orthogonal analysable par SAS, la hauteur maximale moyenne atteinte sur mélange humus-minéral est significativement plus élevée ($P=0.0013$) que celle observée sur sol minéral.

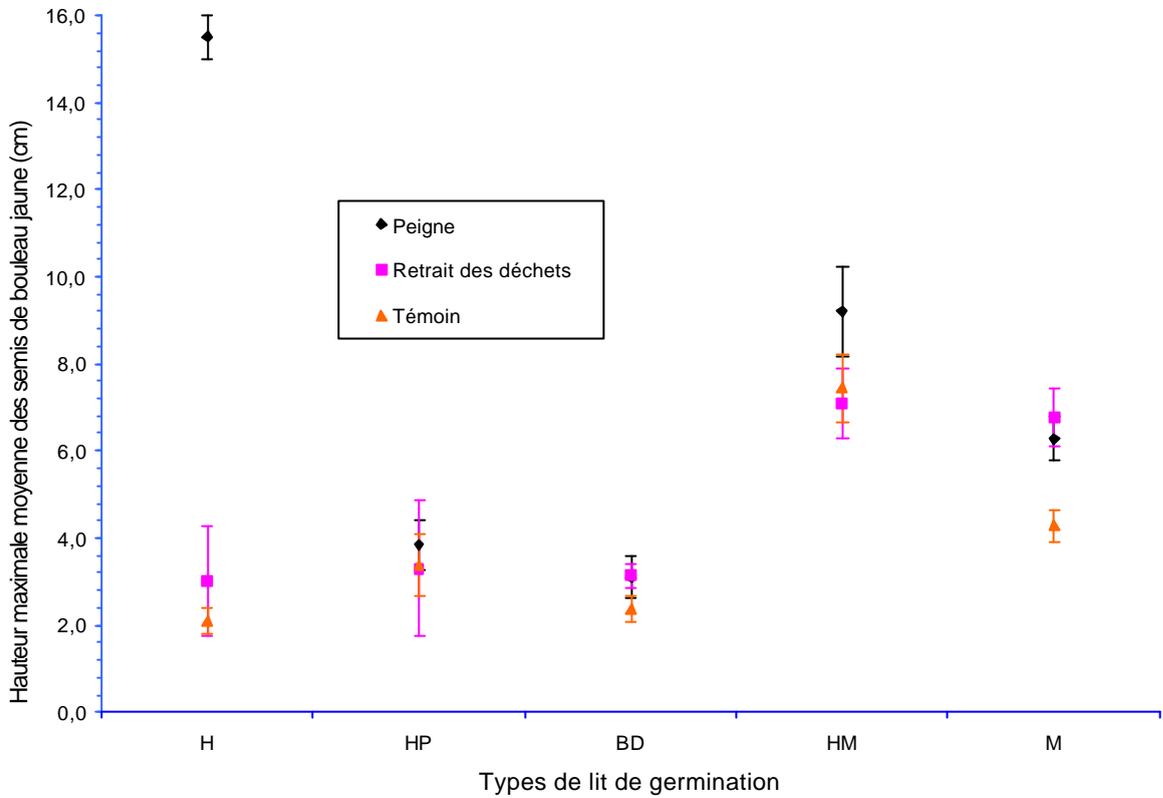


Figure 4. Hauteur maximale moyenne des semis de bouleau jaune après une saison de croissance selon la nature du lit de germination et le type de scarifiage. Les barres d'erreur indiquent l'intervalle de confiance à 95%. (H=humus, HP=humus perturbé, BD=bois décomposé, HM=humus-minéral et M=minéral).

Discussion

D'après nos résultats, le scarifiage du sol dans les trouées n'améliore pas le stocking en semis de bouleau jaune. En revanche, l'effet du scarifiage pourrait s'avérer significatif si on utilise un seuil à moins restrictif. Nous avons constaté sur le terrain que le scarifiage augmente de façon importante le nombre de semis (densité) de cette espèce dans les trouées en créant un environnement propice à la germination des graines. La revue de littérature effectuée par Nolet et Poirier (2001) corrobore nos observations. Selon les auteurs consultés dans Perala et Alm (1990), les lits de germination offrant un meilleur taux de germination sont l'humus, l'humus mélangé au sol minéral, les rondins et les souches en décomposition. Filip (1968) arrive sensiblement à la même conclusion en mentionnant une meilleure régénération sur lits de germination perturbés où le sol minéral est exposé ou mélangé à l'humus. Le stocking en semis de bouleau jaune très élevé obtenu sur sol minéral, combiné au niveau très intéressant observé sur humus-minéral et bois décomposé, corroborent les auteurs précédemment cités. En revanche, les stockings les plus faibles se retrouvent sur humus et humus perturbé, ce qui contredit les auteurs consultés dans Perala et Alm (1990). En fait, Godman et Krefting (1960) et Wang (1965) soutiennent que la matière organique non décomposée seule ou mélangée à une petite quantité de sol minéral constitue un lit de germination pauvre, causant l'assèchement rapide des couches supérieures du sol. Le bouleau jaune est une espèce très sensible à la sécheresse et aux inondations ainsi qu'aux propriétés physiques et chimiques du sol (Perala et Alm, 1990). Ainsi, la présence des semis de bouleau jaune est dépendante d'un niveau d'humidité du sol de moyen à élevé et d'un apport élevé en nutriments (Godman et Krefting, 1960; Wang, 1965). La préparation du lit de germination contribue donc à favoriser l'obtention de conditions idéales pour la germination en mélangeant l'humus au sol minéral, mais supprime également la régénération établie susceptible d'opprimer les semis de bouleau jaune. Ces affirmations sont validées par les résultats probants de notre étude obtenus pour la croissance en hauteur des semis de bouleau jaune sur le mélange humus et matière minérale.

Un résultat intéressant de la présente étude concerne le stocking plus élevé observé sur le bois en décomposition à l'intérieur des trouées témoins comparativement aux trouées scarifiées. Le bris de la structure du matériel ligneux en décomposition par le passage répété de la machinerie, l'élimination complète des cimes du parterre de coupe et une diminution

substantielle de la présence des arbustes et de la végétation herbacée constituent des facteurs qui, premièrement, diminuent la capacité d'absorption du substrat, et deuxièmement, favorisent son assèchement en augmentant l'intensité et la durée de l'insolation dans les trouées scarifiées. La modification de l'environnement autour du matériel en décomposition, associée à l'augmentation de la surface exposée à la radiation solaire (éclatement en de multiples fragments) amènent, dans les trouées scarifiées, une baisse du stocking de l'ordre de 25% pour ce type de substrat comparativement à ce qui est observé dans les témoins. Néanmoins, le type de lit de germination "bois décomposé" possède un stocking en semis de bouleau jaune comparable à celui de l'humus-minéral, et ce malgré l'absence de matière minérale au niveau du substrat de germination. De plus, le passage de la machinerie sur la matière ligneuse en décomposition a un faible impact dans les trouées scarifiées puisque de nombreux lits de germination de qualité sont alors créés (humus-minéral et sol minéral).

La croissance en hauteur des semis de bouleau jaune est favorisée par le scarifiage. Le gain moyen de croissance diffère peu entre le scarifiage au peigne (27%) et le scarifiage par retrait des déchets (21%). Cette augmentation de la croissance s'explique par le fait que le scarifiage favorise le mélange de la matière organique partiellement décomposée au sol minéral, entraînant une bonne rétention de l'humidité du sol et offrant aussi une texture relativement souple qui facilite un établissement rapide des racines des semis (Godman et Krefting, 1960; Wang, 1965).

Dans notre étude, la meilleure croissance en hauteur des semis de bouleau jaune est observée sur le type "humus-minéral", ce qui corrobore les explications de ces auteurs. La croissance moyenne en hauteur observée sur le mélange humus et sol minéral est supérieure de 146% à la croissance moyenne en hauteur enregistrée sur le bois en décomposition. Elle se démarque également de l'humus, de l'humus perturbé et du sol minéral par des gains de croissance respectifs de 124%, de 74% et de 33%. Il est intéressant de noter que le sol minéral constitue le meilleur lit pour la germination des semences de bouleau jaune lorsque la pluviométrie est adéquate. En revanche, la croissance en hauteur est significativement moins élevée sur ce type de lit de germination comparativement à ce qui est observée sur humus-minéral. L'écart significatif de croissance en hauteur observé en faveur des semis se développant sur de l'humus-minéral est

lié à la présence de la matière organique dans ce type de lit de germination. La matière organique permet au substrat de maintenir un niveau d'humidité plus constant au cours de la saison de croissance. Elle enrichie également le substrat en éléments nutritifs et améliore sa structure. Ces facteurs favorisent un développement rapide des semis de bouleau jaune germant sur un substrat composé d'un mélange de matière organique et de particules minérales. Ceci nous porte à croire que l'écart de croissance en hauteur entre ces deux types de lit germination ne pourra que s'accroître avec le temps, et cela sans oublier que les semis installés sur le sol minéral, particulièrement en milieu ouvert, seront très sensibles aux futures périodes de sécheresse.

Le très bon stocking obtenu sur le bois en décomposition contraste avec la faible croissance en hauteur observée sur ce même milieu. Une température moins élevée du substrat et un faible niveau de minéralisation (apport en éléments nutritifs) différencient ce type de lit de germination des types "humus-minéral" et "sol minéral". Néanmoins, à plus long terme, un niveau d'humidité plus constant combiné à une faible compétition herbacée et arbustive au pourtour des semis (effet d'élévation de la souche ou des rondins, capacité germinative élevée des semences de bouleau jaune sur ce type de substrat) constituent deux facteurs qui permettent d'expliquer, partiellement du moins, le grand nombre de gaules et de perches établies sur de vieilles souches dans la forêt feuillue et mixte du Québec.

L'effet bénéfique du scarifiage sur la croissance des semis de bouleau jaune est encore plus probant lorsqu'on examine la hauteur maximale moyenne. Par rapport aux trouées témoins, des gains de croissance en hauteur respectifs de 38% et de 22% caractérisent les trouées scarifiées par peigne et les trouées scarifiées par retrait des déchets. La hauteur maximale moyenne atteinte sur humus et sol minéral varie selon le type de scarifiage effectué. La hauteur maximale moyenne très élevée observée sur humus dans les trouées scarifiées par peigne, comparativement aux trouées témoins et aux trouées scarifiées par retrait des déchets, résulte probablement du faible nombre de données enregistrées pour ce traitement combiné à une mauvaise évaluation de l'âge de quelques semis. La croissance en hauteur moins rapide des semis de bouleau jaune observée sur sol minéral dans les trouées témoins par comparaison aux trouées scarifiées s'explique autrement. Les micro-sites minéraux localisés dans les trouées témoins sont la plupart du temps situés dans les ornières créées par le passage de la machinerie

lors de la récolte de la matière ligneuse. Contrairement aux micro-sites issus du scarifiage par peigne ou du scarifiage par retrait des déchets, ceux-ci sont souvent envahis par l'eau de pluie (fond des ornières) ou soumis à un ruissellement important (côté des ornières), conditions plus contraignantes pour la croissance. En outre, la présence des cimes et d'une couverture herbacée et arbustive plus importante dans les trouées témoins diminue l'apport de lumière au niveau du sol, entraînant une réduction de la température de celui-ci et conséquemment, une minéralisation moins rapide des débris organiques au pourtour des lits minéraux (Kimmings, 1990). L'exposition moins intense des semis de bouleau jaune sur sol minéral à la pleine lumière dans les trouées témoins constitue probablement le facteur principal pouvant expliquer la croissance en hauteur plus rapide observée comparativement aux trouées témoins.

Conclusion et recommandations de l'étude

Rappelons que le but recherché consistait à déterminer une ou des technique(s) de scarifiage acceptable(s) économiquement et permettant d'atteindre l'objectif de régénération des coupes de jardinage avec trouées. L'étude de Nolet et Poirier (2001) a constitué la première phase du présent projet, laquelle consista à comparer les types de scarifiage au point de vue de leurs coûts d'opération et de la qualité des micro-sites créés. Deux constats importants ont été dégagés de leurs travaux:

- ❑ Le scarifiage par retrait des déchets semble plus intéressant que le scarifiage par peigne, nécessitant moins de temps pour sa réalisation tout en fournissant une quantité équivalente de micro-sites de bonne qualité pour l'établissement des semis de bouleau jaune.
- ❑ Les trouées non scarifiées offrent une quantité suffisante de bons micro-sites étant donné la perturbation du sol lors de la réalisation des interventions.

Les résultats de nos recherches montrent que le classement préalablement établi pour les lits de germination étudiés, en terme de qualité globale (germination, survie et croissance), comporte certaines lacunes. Les résultats de cette étude indiquent que le type humus-minéral constitue un lit de germination d'excellente qualité, permettant un bon taux de germination et surtout un excellent développement. Le bois en décomposition représente également un bon lit de germination, mais la croissance en hauteur sur ce type de matériel est particulièrement lente. Ce dernier point ne semble pas constituer un facteur de déclassement. Contrairement à l'hypothèse initiale, l'humus perturbé ne constitue pas un bon lit de germination. Un stocking faible et une croissance en hauteur moyenne permettent d'attribuer tout au plus un niveau de qualité globale moyen à ce type de lit de germination. Toujours selon nos résultats, l'horizon minéral représente le meilleur substrat pour la germination des semences de bouleau jaune. La croissance en hauteur observée sur ce type de lit de germination est relativement bonne, mais il est difficile de se prononcer sur le maintien de cette croissance pour les années à venir. En fait, le taux de survie à long terme des semis de bouleau jaune sur sol minéral demeure encore un point d'interrogation pour la communauté scientifique. Ce constat valide pour le moment le statut de qualité globale moyen attribué au sol minéral. Enfin, les valeurs de stocking et de croissance en

hauteur obtenues sur humus confirme que la matière organique n'est pas un bon lit de germination pour les semences de bouleau jaune. En conséquence, la qualité globale pour ce type de substrat devrait passer de moyenne à faible.

Dans des conditions où l'approvisionnement en semences ne constitue pas un facteur limitant, les trouées témoins présentent un nombre suffisamment élevé de bons et de moyens micro-sites pour assurer la régénération du bouleau jaune (Nolet et Poirier, 2001). Le scarifiage du sol est donc justifié seulement s'il entraîne un gain de croissance en hauteur chez les semis. Or, nos résultats vont dans ce sens, avec des gains respectifs de 38% et 22% pour la hauteur maximale moyenne dans les trouées scarifiées avec peigne et par retrait des déchets. La différence n'est cependant pas significative entre les deux types de scarifiage. Par conséquent, la méthode de scarifiage la plus rapide et la moins onéreuse, c'est-à-dire le scarifiage par retrait des déchets, doit être privilégiée. Même si les trouées témoins présentent un nombre suffisamment élevé de bons et de moyens micro-sites, ceux-ci sont composés principalement par la matière ligneuse en décomposition puisque que l'humus-minéral et le sol minéral représentent chacun 2% de la surface des parterres de coupe. Ainsi, il vaut mieux éviter dans la mesure du possible de faire passer la machinerie sur les souches et les débris ligneux en décomposition lors des opérations de débardage dans les trouées témoins afin de sauvegarder les meilleurs sites disponibles pour la germination des semences de bouleau jaune.

Les résultats de ce projet soulèvent de nouvelles interrogations:

- ❑ Le gain de croissance en hauteur initial obtenu grâce au scarifiage se maintient-il au cours du temps?
- ❑ L'écart de croissance en hauteur observé entre les semis se développant sur le type "humus-minéral" et ceux poussant sur sol minéral a-t-il tendance à s'accroître avec le temps?
- ❑ Le sol minéral constitue-t-il un substrat adéquat pour l'établissement des semis de bouleau jaune?
- ❑ L'humus-minéral constitue-t-il un bon milieu de germination et de croissance pour la végétation compétitrice (ex:framboisier)? Le gain de croissance en hauteur obtenu

pour les semis de bouleau jaune sur ce type de lit de germination résistera-t-il à la compétition herbacée plus présente sur ce milieu?

- ❑ Quels sont les taux de mortalité associés à chaque type de lit de germination? De quelle façon ces taux de mortalité évoluent-ils?
- ❑ Le gain en croissance en hauteur obtenu après scarifiage justifie-t-il l'application de ce traitement d'un point de vue économique?

Un suivi à plus long terme s'avère nécessaire afin de pouvoir répondre à ces différentes questions. Ce suivi permettra d'avoir une idée plus globale de l'effet des coupes de jardinage par trouées et de la préparation du lit de germination sur la régénération du bouleau jaune en vue de reconstituer le peuplement.

Références citées

- Filip, S. M. 1968. Natural regeneration of birch in New England. Dans Proceedings, The Birch Symposium. USDA Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, General Technical Report NE-5, 5 p.
- Godman, R. M. et L. W. Krefting. 1960. Factors important to yellow birch establishment in upper Michigan. *Ecology*, 41 : 18-28.
- Kimmins, J.P., P.G. Comeau et W. Kurz. 1990. Modelling the interactions between moisture and nutrients in the control of forest growth. *Forest Ecology and Management*, 30:361-379.
- MRN. 1998. Manuel d'aménagement forestier. 3^{ième} édition. 122 p.
- MRN. 2001. Méthodes d'échantillonnage pour le suivi des inventaires forestiers. Forêt Québec, Direction de l'assistance technique, Division des traitements sylvicoles. 260 p.
- Nolet, P. et J. Poirier. 2001. Essai opérationnel de diverses méthodes de scarifiage intégré aux opérations dans les trouées et mise en place d'un dispositif de suivi. Rapport de l'Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue, St-André-Avellin. 25 p.
- Perala, D. A. et A. A. Alm. 1990. Reproductive ecology of birch : a review. *Forest Ecology and Management*, 32 :1-38.
- Robitaille, A. et J.P. Saucier. 1998. Paysages régionaux du Québec méridional. Les Publications du Québec. 213 p.
- Wang, B. S. P. 1965. Seedbed, canopy and moisture effects on growth of yellow birch seedlings. *The Forestry Chronicle*, 41 : 106-107.

Annexe



Figure 5. Photo de bois décomposé.



Figure 6. Photo d'humus "perturbé" par la machinerie (côté droit de la photo) et par le peigne (côté gauche de la photo).



Figure 7. Photo d'un sol minéral (partie inférieure gauche) et d'un mélange humus et sol minéral (partie droite).



Figure 8. Photo d'un mélange de sol minéral et humus dans une micro-dépression. Présence de semis au stade de cotylédons.

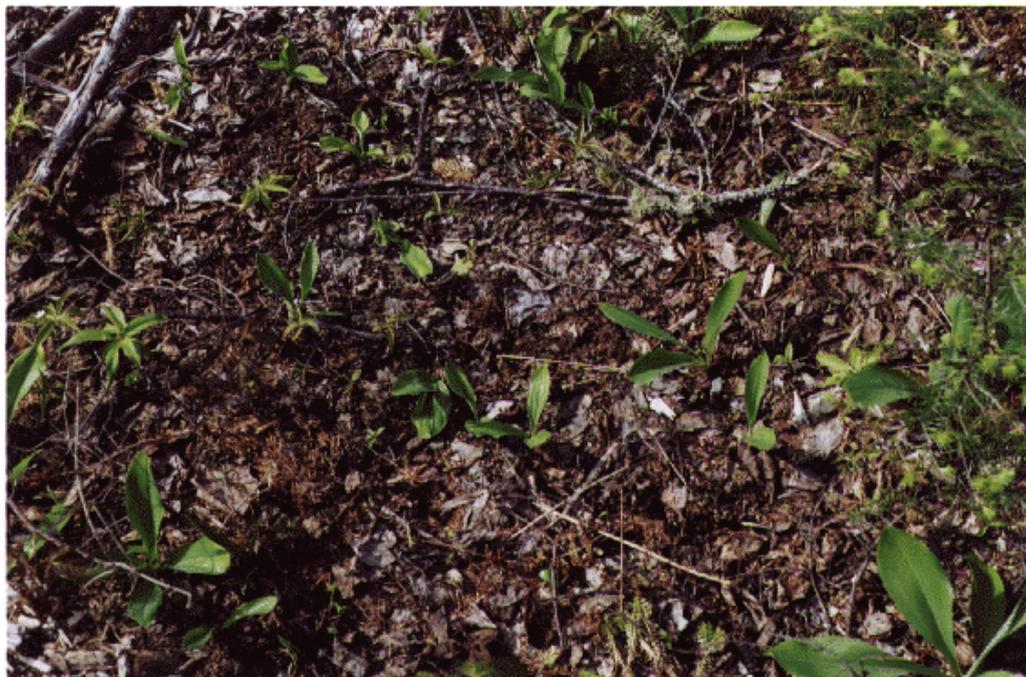


Figure 9. Photo d'humus intact (non perturbé) en bordure d'une trouée scarifiée par peigne.



Figure 10. Photo d'une trouée témoin.



Figure 11. Photo d'une trouée scarifiée par retrait des déchets.



Figure 12. Photo d'une trouée scarifiée au peigne.