

**SUIVI A MOYEN TERME DE TRAITEMENTS D'AMELIORATION
DE LA REGENERATION DU BOULEAU JAUNE :
II- REMESURE 7 ANS APRES L'APPLICATION DE
TRAITEMENTS DE SCARIFIAGE**

Rapport Final
(2007-2008)

présenté à



et à



Direction régionale de Lanaudière

Janvier 2008



Institut québécois d'Aménagement
de la Forêt feuillue

Équipe de réalisation de l'IQAFF*

Coordonnateur scientifique

Sylvain Delagrange, Ph.D.

Équipe de rédaction :

Sylvain Delagrange, Ph.D.
François Lorenzetti, Ph.D.
Daniel Bouffard, M.Sc.

Équipe technique :

Julie Poirier
Nadia Bergeron
Mélanie Demers

*IQAFF : Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue
58 Principale, Ripon, Québec, J0V 1V0
Tél : 819-983-6589 ; Fax : 819-983-6588
Courriel : iqaff@iqaff.qc.ca
Site internet : www.iqaff.qc.ca

Pour citation :

Delagrange S, Lorenzetti F, Bouffard D. 2008. Suivi à moyen terme de traitements d'amélioration de la régénération du bouleau jaune : II- Remesure 7 ans après l'application de traitements de scarifiage. Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue, Ripon, Québec. Rapport technique, 24 p.

Résumé

Ce document regroupe l'information correspondant à la **seconde partie** d'une étude de remesure de la performance du bouleau jaune après application de traitements d'amélioration de sa régénération. Cette seconde partie concerne exclusivement l'analyse du stocking, de la compétition, de la vigueur et de la croissance du bouleau jaune **7 ans après l'application de différentes intensités de scarifiage**. En effet, à l'automne 2000, 3 traitements (scarifiage par peigne [P], scarifiage par retrait de déchet [RD] et pas de scarifiage [T]) avaient été testés pour comparer l'établissement et la croissance du bouleau jaune.

De 2001 à 2003, un premier suivi avait été réalisé (Bouffard & Nolet 2003; Lorenzetti et al 2008) et avait amené à la conclusion que bien que le stocking initial soit meilleur dans le P, les 3 traitements avaient amené un stocking convenable. Ceci s'expliquait car le peigne créait une quantité de bon lits de germination pour le bouleau jaune plus important que le RD qui lui-même en créait plus que le T, seulement perturbé par le passage de la machinerie lors de la coupe. Finalement, en comparant la survie et la croissance dans les 3 traitements, des différences significatives avaient été signalées. Cependant, ces différences n'apparaissaient que lorsque la quantité relative de lits de germination à l'intérieur de chaque traitement était prise en compte. En effet, un bon lit de germination était toujours bon quelque soit le traitement duquel il était issu. Ainsi, le P semblait être le meilleur environnement pour la croissance du fait que ce traitement avait généré la plus grande quantité de bons lits de germination. Toutefois, un avertissement avait été émis devant la diminution de ces différences après 3 ans. En fait, une forte mortalité de cime chez les individus du P et du RD. En effet, il semblait que la vigueur des semis dans ces traitements était plus précaire et donc plus sensible au stress climatique. L'importance de l'environnement compétitif avait alors été souligné.

En 2007, 7 ans après traitement, un second suivi touchant l'évolution du stocking, de l'environnement de compétition, de la vigueur et de la croissance dans les trouées a été effectué. Cette remesure confirme l'observation que le stocking, bien que différemment réparti, est convenable dans les 3 traitements. Cependant, si le stocking est équivalent dans le RD et le T, il était double et spatialement mieux réparti dans le P. Au niveau de l'environnement compétitif, le RD, 7 ans après scarifiage, possède le plus intense, suivi du P et du T. Cette intensité se reflète à la fois à travers les espèces présentes que par la hauteur et la densité de tige de cette compétition. De façon surprenante, l'analyse du statut de dominance des gaules de bouleau jaune a montré que les 3 traitements avaient généré au moins 70% de tiges dominantes et co-dominantes et qu'aucune différence statistique entre les 3 traitements n'a pu être mise en évidence au niveau de la croissance et de la vigueur. Ceci confirme bien que la diminution des différences entre traitement observée après 3 ans s'est poursuivie pour qu'aucune différence ne soit perceptible 7 ans après traitement.

Par conséquent, le RD par ces très faibles différences avec le T et par la compétition très intense qu'il produit ne semble pas recommandable. En ce qui concerne le P et le T, il apparaît clairement que ces traitements ont des avantages et des inconvénients qui orientent leur utilisation vers un aménagement respectivement intensif et extensif. Une synthèse des caractéristiques amenées par l'application des 3 traitements est fournie en conclusion ainsi qu'une évaluation de la surface terrière de bouleau jaune à attendre en fonction des différences observées de stocking.

TABLE DES MATIERES

Résumé.....	i
I- Mise en situation	1
II- Description de la méthodologie	2
1. Nature du territoire sous étude.....	2
2. Traitements de scarifiage et design expérimental	2
3. Variables et méthodes de mesure.....	5
Stocking du bouleau jaune	5
Croissance, vigueur et compétition du bouleau jaune.....	5
3. Analyses statistiques.....	6
III- Résultats & Discussion.....	7
1. Stocking de bouleau jaune	7
2. Environnement compétitif 7 ans après traitement de scarifiage.....	8
3. Performance du bouleau jaune en fonction des traitements de scarifiage	10
Statut de dominance	10
Croissance	11
Vigueur.....	12
IV- Conclusions.....	14
Implications pratiques sur l'application des traitements de scarifiage	16
Remerciements :.....	17
Références	18
Annexes.....	19

I- Mise en situation

Parmi les essences feuillues, le bouleau jaune demeure aujourd'hui l'une des espèces forestières les plus prisées par l'industrie. Cependant, la présence de cette espèce dans certaines forêts d'Amérique du Nord s'avère problématique (Woods 2000; Nolet et al. 2001b). Aujourd'hui, plusieurs causes ont été identifiées pour expliquer ce défaut de régénération, telles que : (i) ses exigences particulières de lits de germination (Erdmann 1990), (ii) la trop faible perturbation du sol amenée par les coupes hivernales (Nolet et al. 2001a), (iii) l'écrémage passé des semenciers (Nolet et al. 2001a), ou encore (iv) l'établissement d'un régime de coupes partielles (ne semblant pas laisser entrer assez de lumière en sous couvert pour cette espèce) (Beaudet et al. 2004).

Au Québec, la région de Lanaudière s'avère directement concernée par cette problématique puisque plus de 2 500 ha de forêt ont été reconnus comme mal régénérés en bouleau jaune (Bouffard et al. 2004). D'ailleurs, dans le cadre de programmes de mise en valeur des ressources du milieu forestier (Volet I), plusieurs méthodes allant de la facilitation de l'établissement (scarifiage) à l'augmentation du rendement de la régénération (dégagement des gaules) ont été testées dans cette région sur le bouleau jaune (Unité de Gestion 62-02) respectivement en 2000 (Bouffard & Nolet 2003; Lorenzetti et al. 2008) et 2001 (Bouffard et al. 2004; Bouffard et al. 2007).

Aujourd'hui, une remesure à moyen terme des effets de ces traitements de scarifiage et de dégagement (et leurs différents niveaux d'intensités) sur la performance de la régénération de bouleau jaune a été réalisée. Ce suivi a comme objectifs (i) d'évaluer à l'échelle de la placette (ou de la trouée) la performance (croissance et vigueur) de la régénération en bouleau jaune en fonction du traitement appliqué et (ii) de caractériser l'environnement compétitif des gaules associés à l'application de ces différents traitements et responsable de la performance observée.

DANS LE PRESENT DOCUMENT, LES RESULTATS DISCUTES ET LES CONCLUSIONS EMISES CONCERNENT LA REMESURE DE LA REGENERATION DE BOULEAU JAUNE 7 ANS APRES LA REALISATION DE TRAVAUX DE SCARIFIAGE D'INTENSITES VARIABLES.

II- Description de la méthodologie

1. Nature du territoire sous étude

La présente étude a été réalisée au Québec (Canada) dans la zone d'exploitation contrôlée Collin, à 58 km au nord de Saint-Michel-des-Saints. Le site est en fait situé à proximité du lac Comb dans la portion sud de l'unité de paysage du Lac Laverdière définie par Robitaille et Saucier (1998). Cette portion de territoire appartient au domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau jaune et est caractérisée principalement par des tills épais qui recouvrent plus de la moitié de la superficie totale et par la présence de dépôts juxtaglaciaires (Robitaille & Saucier 1998). 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. Toujours selon Robitaille et Saucier (1998), 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. La température et les précipitations annuelles moyennes observées dans cette unité de paysage sont respectivement de 2.5 °C et 1000-1100 mm (avec 30 % sous forme de neige), alors que la longueur de la saison de croissance se situe entre 160 et 170 jours.

2. Traitements de scarifiage et design expérimental

A l'automne 200, une coupe de jardinage par trouée (de forme carrée et d'une superficie avoisinant 1000 m²) a été effectuée dans un peuplement dominé par le bouleau jaune de 1.2 km² (Figure 1). Après la récolte de la matière ligneuse, un tiers des trouées a été intensément scarifié au moyen d'un peigne, un autre tiers a été moyennement scarifié par le déplacement des déchets de coupe (cimes) en périphérie de la trouée et le dernier tiers n'a pas subi de scarifiage. Il est important de noter ici que le sol des trouées nommées « témoins » ont tout de même subi une perturbation du sol correspondant au passage de la machinerie lors de la récolte automnale de la matière ligneuse. Parmi l'ensemble des trouées, 18 ont été sélectionnées (6 peignes (P), 6 retraits de déchets (RD) et 6 témoins (T)) au printemps 2001 pour établir un dispositif expérimental de suivi du type de lit de germination créé par les traitements (Nolet & Poirier

2001). Ces mêmes trouées ont ensuite été suivies pendant 3 ans afin d'étudier l'établissement, le stocking et la croissance du bouleau jaune (Bouffard & Nolet 2003).

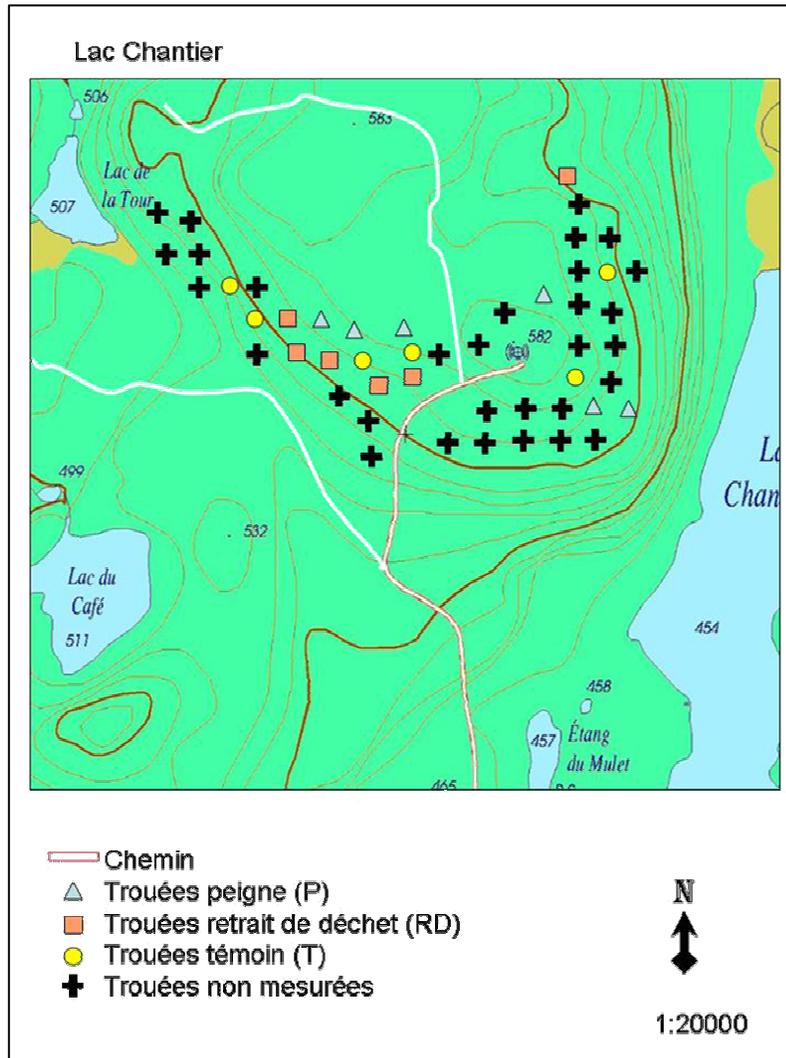


Figure 1. Carte de la disposition des parcelles mesurées ainsi que d'un certain nombre de parcelles réalisées durant les mêmes travaux d'exploitation mais non suivies.

Durant l'été 2007, à la fin de la saison de croissance, les 18 parcelles ont été une nouvelle fois revisitées et un nouveau design expérimental a été mis en place afin d'apprécier le stocking, la croissance, la vigueur et la compétition qui s'exerce sur la régénération de bouleau jaune maintenant au stade de gaulis.

Le nouveau dispositif expérimental établi en 2007 a permis l'échantillonnage de 10 parcelles de mesure ($r = 2.82 \text{ m}$) à l'intérieur de chaque trouée (Figure 2). On notera ici que l'origine du gaulis (type de lit de germination) ne pouvait pas être identifié et qu'il a donc été volontairement écarté de ce nouveau design. En effet, à ce stade de développement, ce niveau de précision ne pouvait être retrouvé. Cependant, les interprétations des résultats de cette étude ont bien entendu été faites en considérant ceux obtenus en 2003 sur la variabilité des microsites en fonction des traitements de scarifiage (Bouffard & Nolet 2003).

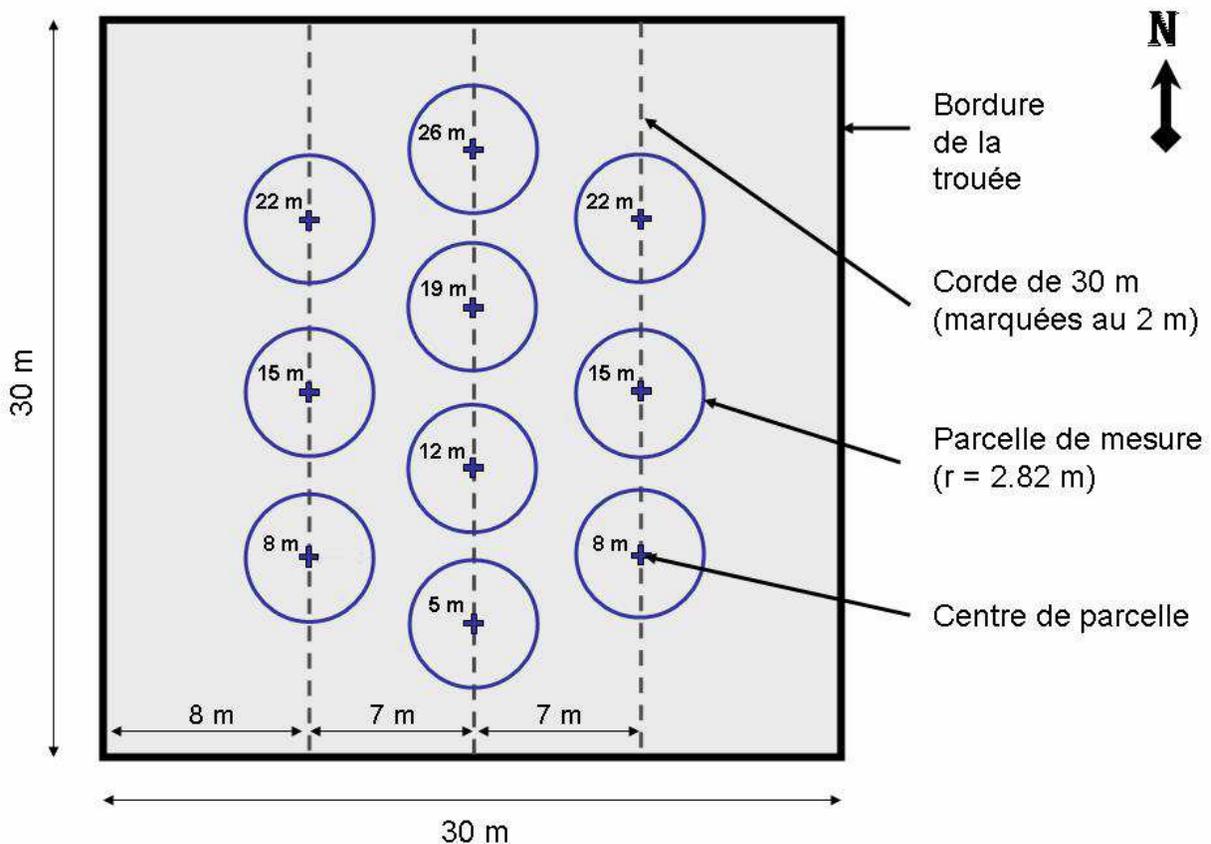


Figure 2. Schématisation du design expérimental pour l'échantillonnage des trouées. Les distances indiquées au niveau de chaque centre de parcelle correspondent à la distance séparant les parcelles de la bordure sud de la trouée.

3. Variables et méthodes de mesure

Stocking du bouleau jaune

Pour chaque parcelle inventoriée, une mesure qualitative de présence ou absence du bouleau jaune au stade semis (donc nouvellement établis) et au stade gaulis (donc issus des traitements de scarifiage) a été prise afin de déterminer le stocking de cette espèce pour ces deux stades. Le calcul du stocking a été réalisé à partir du pourcentage de présence du bouleau jaune parmi les 10 parcelles d'une même trouée. Pour chaque parcelle, lorsque la présence du bouleau jaune été relevée au stade gaulis, le nombre de bouleau jaune (DHP > 1 cm) et le potentiel d'avenir de chacune de ces tiges ont été notés. A partir de ces données, un stocking qualitatif (présence ou absence de tige et présence ou absence de tige d'avenir) ainsi qu'un stocking quantitatif (nombre de tige à l'hectare et nombre de tige d'avenir à l'hectare) du gaulis ont été calculés.

Croissance, vigueur et compétition du bouleau jaune

Dans chaque parcelle où la présence du bouleau jaune a été relevée, la tige la plus vigoureuse a ensuite été sélectionnée afin de caractériser sa croissance, sa vigueur et son environnement compétitif. Dans les trouées n'ayant pas au moins une tige de bouleau jaune dans chacune des 10 parcelles, des individus supplémentaires ont été sélectionnés à l'extérieur des parcelles jusqu'à concurrence de 10 individus par trouées. Sur ces individus, des mesures de statut (dominant, co-dominant, intermédiaire et opprimé), de croissance (diamètre à hauteur de poitrine ; DHP et hauteur) et de compétition (type, hauteur moyenne et densité de la compétition dans un rayon de 2.82 m) ont été réalisées. Ensuite, la hauteur et le diamètre (moyenne du diamètre le plus large et du diamètre perpendiculaire) de la cime ont été déterminés. A partir de ces mesures, la vigueur de l'arbre a été estimée par le ratio de hauteur sur diamètre de l'arbre ($H_{t[m]}/DHP_{[cm]}$ de l'arbre) alors que la vigueur de la cime a été estimée à l'aide du ratio de morphologie de cime ($H_{t[cm]}/Diam_{[cm]}$ de la cime) et de la proportion de cime vivante (% de la hauteur de l'arbre avec présence d'une branche vivante). Pour le ratio Ht/DHP de l'arbre, une valeur de 1 est considérée comme normale pour une gaule de bouleau jaune alors que pour des valeurs >1 on considère que l'individu est étioilé (c'est-à-dire qu'il sacrifie sa croissance en diamètre pour conserver une croissance en hauteur importante). Pour ce qui est du ratio $Ht/Diam$ de cime, une valeur >1 correspond à une gaule

poussant dans un environnement lumineux non limitant alors qu'une valeur <1 suggère un aplatissement de la cime, typique en cas de limitation de lumière. Finalement, par le biais d'un appareil de mesure instantanée de la concentration foliaire en chlorophylle (SPAD-502, Minolta), la vigueur foliaire (moyenne de 9 feuilles prises aléatoirement dans l'arbre) a été évaluée pour chaque individu échantillonné. On notera que pour cette dernière mesure, la conversion des unités SPAD en concentration de chlorophylle par unité de surface foliaire n'a pas été faite puisque la relation est conservée à l'intérieur d'une même espèce et que l'intérêt de cette mesure n'était pas d'obtenir la valeur absolue de chlorophylle mais bien la valeur comparative entre les différents traitements.

3. Analyses statistiques

L'ensemble des analyses statistiques a été réalisé via l'utilisation du logiciel NCSS (Hintze 2004) en fixant le seuil de signification à $\alpha=5\%$. Il est important de noter ici que pour chaque caractéristique, le test statistique a été réalisé sur la valeur moyenne de chaque trouée (c'est-à-dire la moyenne des 10 individus mesurés par trouée). Les inférences statistiques répertoriées dans cette étude ne s'appliquent donc pas à des gaules de bouleau jaune individuellement, mais bien à un ensemble de gaules ayant subi le même traitement.

Dans un premier temps, des analyses de variance (ANOVA) à un facteur ont été faites pour tester des différences entre les traitements de scarifiage pour la composition en espèce, la hauteur moyenne et la densité moyenne de la compétition dans un rayon de 2.82 m autour des individus cible de bouleau jaune. Un même test a été utilisé pour comparer entre traitements, le statut de dominance, la croissance moyenne (en hauteur et en diamètre) et la vigueur de l'arbre, de la cime et de la feuille de bouleau jaune.

Ensuite, une analyse de corrélation (Pearson) a été réalisée pour apprécier les liens entre les différentes caractéristiques de la compétition et les variables associées à la performance du bouleau jaune.

III- Résultats & Discussion

1. Stocking de bouleau jaune

L'application du traitement le plus intense de scarifiage du sol (Peigne ; P) a généré après 7 ans un stocking 2 fois plus élevé que dans le témoin (T). En effet, 90% des parcelles échantillonnées dans ce traitement avaient une présence de gaules de bouleau jaune alors qu'il n'était présent que dans 45% des cas dans le témoin (Figure 3A, Annexe 1). Le retrait de déchet (RD) n'a, quant à lui, pas amené de gain significatif dans le stocking de bouleau jaune par rapport au T. Au regard du stocking de gaules identifiées comme d'avenir, les différences entre traitements restent très semblables avec un stocking de 40% pour le T et le RD et 80% pour le P (Figure 3A, Annexe 1). D'un autre côté, comme il avait déjà été mentionné après 3 ans, aucun recrutement de semis n'est visible après 7 ans dans le P alors qu'environ 10% des parcelles avaient une présence de semis dans le RD et le T (Figure 3A, Annexe 1).

En terme de densité de gaules de bouleau jaune par hectare, elle a, sans surprise, augmenté avec l'augmentation de l'intensité de scarifiage (Figure 3B, Annexe1). En revanche, plus aucune différence

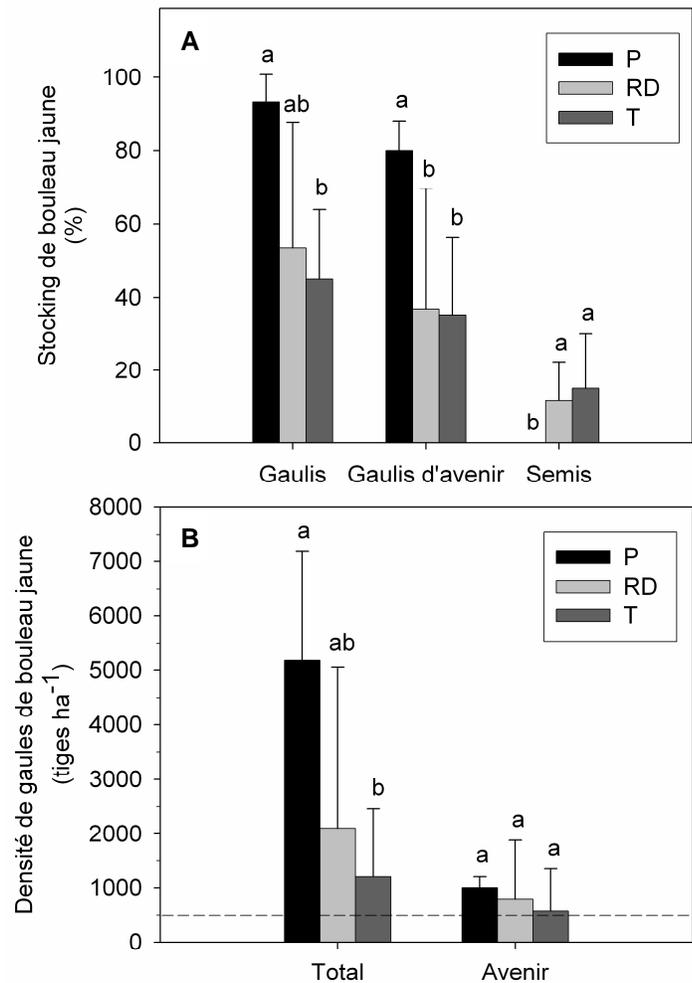


Figure 3. Moyennes et écart types (A) du stocking de bouleau jaune en gaules, gaules d'avenir et semis, (B) de la densité de gaules et de gaules d'avenir par hectare. Les traitements de scarifiage sont le peigne (P), le retrait de déchet (RD) et le témoin (T). Les différentes lettres correspondent à des différences significatives à $\alpha = 0.05$. La ligne hachurée correspond au stocking théorique acceptable de 500 tiges/ha.

entre traitement n'est visible si l'on considère la densité de gaules d'avenir de bouleau jaune (Figure 3B, Annexe1).

Ainsi, en couplant toute l'information recueillie sur le stocking du bouleau jaune après scarifiage, il apparaît que si le P génère une énorme quantité de tige de bouleau jaune à l'hectare (5000 tiges) et que celles si sont équitablement réparties sur l'ensemble de la superficie de la trouée (90%), mais que seul 20% de ces tiges ont été identifiées comme d'avenir (1000 tiges). A l'inverse, le T semble générer un stocking plus hétérogène du bouleau jaune, où 1200 tiges par hectare sont réparties sur moins de 50% de la superficie de la trouée. Par contre, dans ce traitement, plus d'une tige sur deux a été qualifiée d'avenir ce qui sous entend une production de 700 tiges d'avenir sur environ 50% de la superficie de la trouée. Pour ce qui est RD, ce traitement ne démontre aucune différence comparativement au T.

Finalement, en supposant que malgré la forte pression de compétition imposée par la densité de tige produite par le P la quantité de tiges d'avenir de bouleau jaune est assez grande pour qu'une tige mature soit présente sur 90% de la superficie de la trouée, ceci correspondrait à 266 tiges par hectare soit une surface terrière théorique de bouleau jaune de 25.6 m²/ha lorsque les individus auront atteint un DHP de 35 cm. De même, en supposant que la compétition relativement faible générée dans les T permette aux tiges identifiées d'avenir d'arriver à maturité (35 cm de DHP), ceci correspondrait pour ce traitement à 133 tiges par hectare soit une surface terrière théorique de 12.8 m²/ha. En considérant une surface terrière théorique de 26 m²/ha alors que les bouleau jaune auront atteint ce DHP de 35 cm, la proportion de surface terrière occupée par le bouleau jaune serait alors de 98.4 % avec le P et 49.2 % avec le T. On notera que ces chiffres correspondent aux meilleurs des cas dans chacun des traitements, c'est-à-dire les cas où toutes les tiges d'avenir spatialement bien réparties dans la trouée atteignent leur maturité.

2. Environnement compétitif 7 ans après traitement de scarifiage

La hauteur, la densité mais surtout la composition en espèce autour des gaules de bouleau jaune suivies a varié entre les 3 traitements de scarifiage. En effet, le P a produit une compétition dominée également par le bouleau jaune et le cerisier (Figure 4A, Annexe 2). De son côté, le RD a principalement

amené une compétition par le cerisier alors que le T a produit une compétition plus diversifiée qu'aucune espèce ne domine réellement (Figure 4A, Annexe 2).

En ce qui concerne la hauteur (Figure 4B, Annexe 2), le P et le RD ont amené après 7 ans une compétition légèrement plus élevée (3.6 m) que le T (3 m) sûrement reliée à la présence plus importante du cerisier dans ces traitements. Pour la densité de compétition, elle est 30% plus élevée dans le RD que dans les 2 autres traitements (Figure 4C, Annexe 2).

Par conséquent, en terme de compétition, le RD est le traitement le moins profitable puisqu'il produit une compétition haute, dense et dominée par le cerisier. Le P amène de son côté à une compétition haute, mais en bonne proportion mono spécifique. L'avantage vient de la forte présence de l'espèce désirée, l'inconvénient correspond, sous l'angle du partage des ressources, à la forte pression de compétition généralement présente dans ce genre de cohortes mono spécifiques.

Pour terminer, le T amène la compétition la moins intense et la plus diversifiée en terme d'espèce. L'avantage de ce traitement réside donc dans la faible intensité de compétition qu'il génère (d'autant plus qu'il amène la présence d'espèces moins agressives telles que les érables, le sapin et le noisetier).

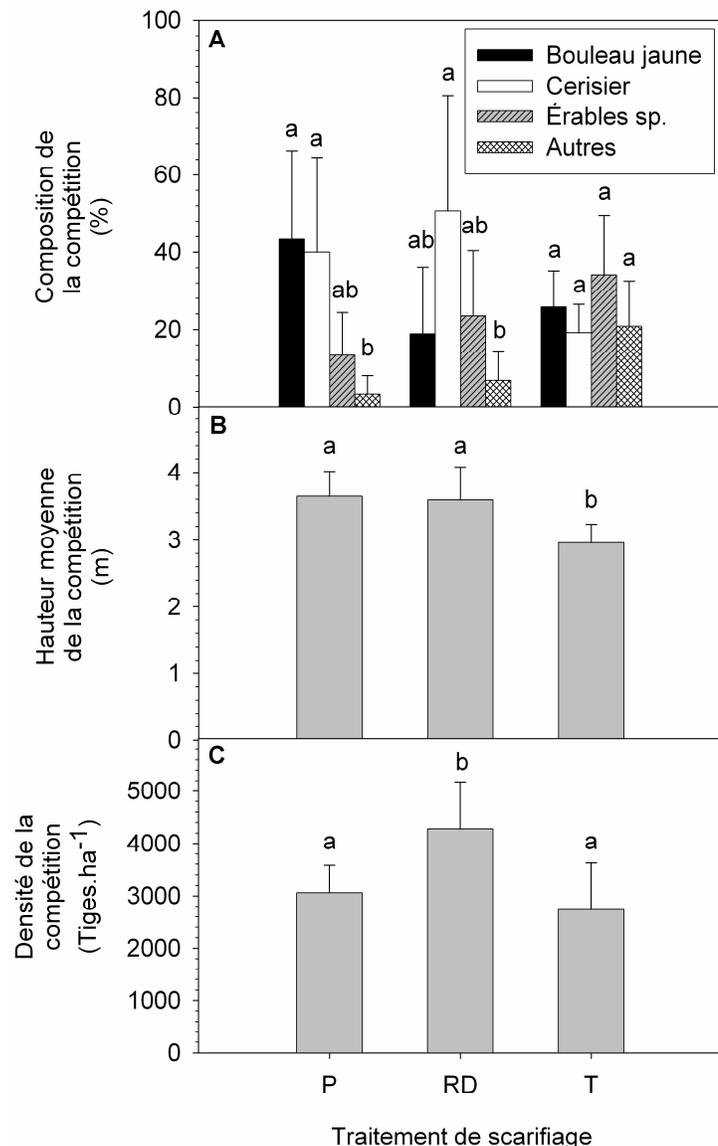


Figure 4. Moyennes et écart types (A) de la fraction de la composition en espèce, (B) de la hauteur moyenne et (C) de la densité moyenne de tige de la végétation compétitrice dans un rayon de 2.82 m en fonction des traitements de scarifiage (P : peigne, RD : retrait de déchets et T : témoin non scarifié). Différentes lettres correspondent à des différences significatives à $\alpha = 0.05$.

3. Performance du bouleau jaune en fonction des traitements de scarifiage

Statut de dominance

Au sein de chaque traitement de scarifiage, la répartition des gaules de bouleau jaune entre les 4 principales classes de dominance était significativement différente amenant toujours à une majorité d'individus dominants et/ou co-dominants par rapport aux individus intermédiaires et supprimés (Figure 5, Annexe 3). De plus, ce patron s'est révélé identique entre les 3 traitements de scarifiage (Annexe 3). Ainsi, 7 ans après l'application des traitements, 70% des individus montraient en moyenne une dominance où une co-dominance vis-à-vis de leur végétation avoisinante et ce dans les trois traitements. De façon surprenante, le témoin a donc produit des individus au statut de dominance élevé et dans des proportions tout à fait similaires à celles des traitements de scarifiage plus intenses (Figure 5).

Cependant, il faut bien noter que le stocking en bouleau jaune très élevé dans le cas du peigne aura comme conséquence d'amener un nombre absolu d'individus dominants et co-dominants très important (et plus élevé que dans les 2 autres traitements). Finalement, on peut également être étonné de la proportion de tiges au statut intermédiaire produites par le RD qui était équivalente à celle des dominants et co-dominants. En fait ce résultat s'explique directement par l'environnement très compétitif généré dans ce traitement ainsi que par la forte présence du cerisier (espèce à croissance très rapide).

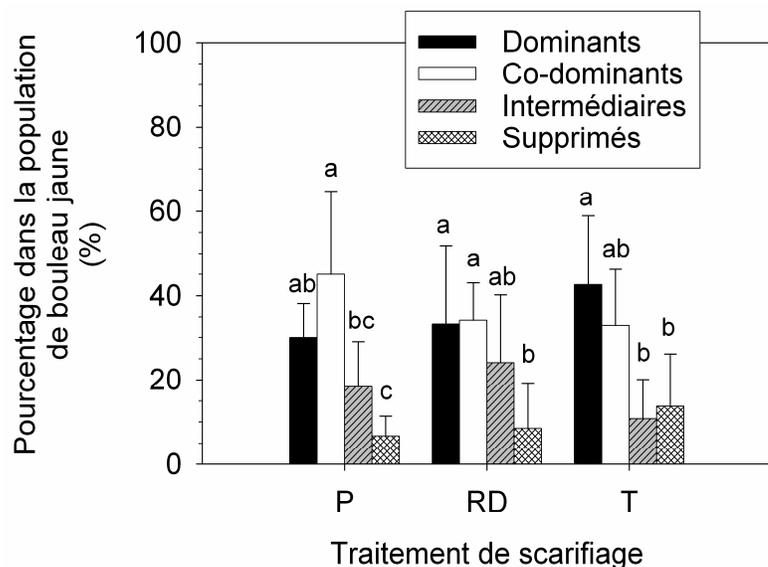


Figure 5. Moyennes et écart types des fractions de la proportion de bouleau jaune au statut dominant, co-dominant, intermédiaire et supprimés dans les parcelles suivies et en fonction du traitements de scarifiage (P : peigne, RD : retrait de déchets et T : témoin non scarifié).

Croissance

Bien qu'en moyenne, une augmentation de l'intensité du traitement de scarifiage a amené une augmentation de la hauteur et du diamètre des gaules suivies, ces différences ne sont apparues significatives dans aucun cas (Figure 6, Annexe 4). En effet, après 7 ans, la différence de taille des individus du P par rapport aux individus du T (i.e., 50 cm) correspondaient à aussi peu qu'une augmentation de 17% ($p = 0.06$, Annexe 4). De même, la différence de diamètre entre ces deux groupes (0.3 cm), équivalente à un gain de 25%, ne s'est pas révélée significative ($p = 0.2282$, Annexe 4).

En considérant qu'après 3 ans, la différence de hauteur entre ces 2 groupes était de 60% et avait été évaluée significative (Lorenzetti et al 2008), il s'avère donc que la croissance dans le témoin ait été assez bonne (et/ou celles dans le P et le RD assez limitées) pour aboutir, après 7 ans, à une impossibilité de différencier statistiquement la hauteur et le diamètre mesurés dans les 3 traitements.

Malgré des différences importantes dans leur environnement de compétition, tant dans les premières années de développement que 7 ans après l'application des traitements de scarifiage, on peut voir que finalement peu de différences en terme de croissance individuelle ont été générées pour les tiges aujourd'hui dominante de leur espèce. De plus, il va être important de suivre ces croissances pour voir si elles sont maintenant stabilisées (alors que le stade de basse régénération est passé), ou si elles évolueront encore.

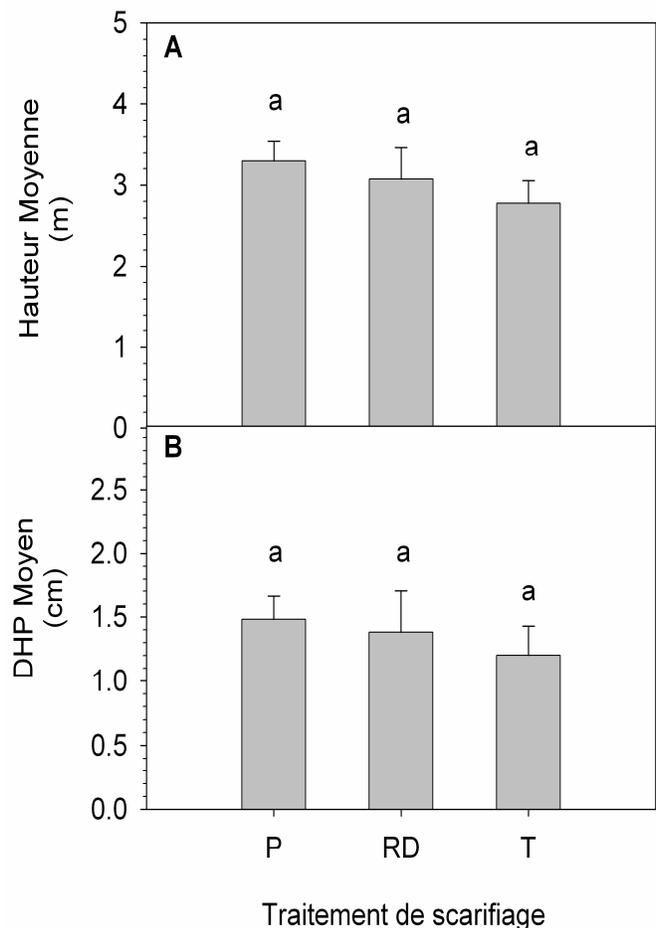


Figure 6. Moyenne et écart types de la hauteur (A) et du DHP (B) moyen du bouleau jaune en fonction des traitements de scarifiage (P : peigne, RD : retrait de déchets et T : témoin non scarifié). Différentes lettres correspondent à des différences significatives à $\alpha = 0.05$.

Vigueur

En ce qui concerne la vigueur des arbres mesurés, celle-ci a été évaluée au niveau de l'arbre (ratio Ht/DHP), de la cime (% de cime vivante, ratio Ht/Diam de cime) et à l'échelle foliaire (contenu en chlorophylles).

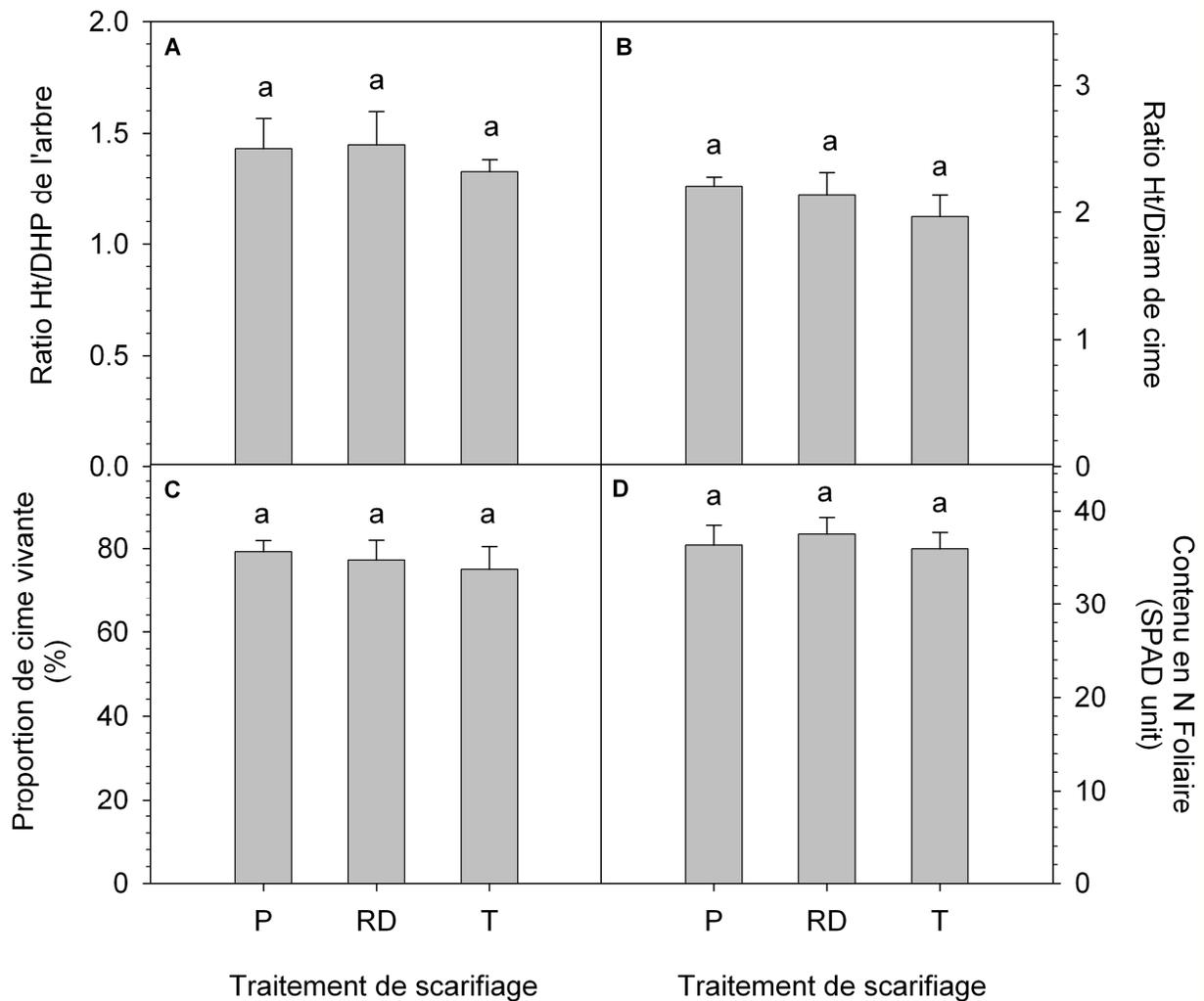


Figure 7. Moyenne et écart types des paramètres caractérisant la vigueur de l'individu (A : Ht/DHP de l'arbres), la vigueur de la cime (B : Ht/diam de cime, C : proportion de cime vivante) et la vigueur foliaire (D : Contenu en azote foliaire) en fonction des traitements de scarifiage (P : peigne, RD : retrait de déchets et T : témoin non scarifié). Différentes lettres correspondent à des différences significatives à $\alpha = 0.05$.

Au même titre que la croissance, si certaines tendances peuvent être identifiées en relation avec le niveau d'intensité du scarifiage, aucune différence dans la vigueur de l'arbre, de sa cime ou de ses feuilles n'a pu être statistiquement validée (Figure 7, Annexe 5). Ainsi, les différences de rapport hauteur sur

diamètre de l'arbre (Ratio Ht/DHP ; Figure 7A) et de la cime (Ratio H/Diam ; Figure 7B), légèrement plus faible chez les individus des trouées témoin, n'était pas significatives. De plus, en considérant les valeurs absolues de ces ratios, celles-ci démontrent un étiolement de la tige faible (Figure 7A) et une cime se développant sans limitation de disponibilité en lumière (Figure 7B). Pour ce qui est de la proportion de cime vivante comme de la quantité de chlorophylles (Figure 7C et D, Annexe 5), les individus mesurés semblent en moyenne montrer une cime vigoureuse ainsi qu'une absence de compétition pour les ressources du sol (et plus particulièrement pour l'azote qui constitue l'élément principal des molécules de chlorophylles) avec la végétation avoisinante et cela pour chacun des 3 traitements.

Il apparaît donc, après 7 ans de croissance, qu'aucune différence de vigueur ne soit décelable entre les traitements de scarifiage. Ainsi, malgré l'application de lourds traitements du sol ainsi que la création d'environnements compétitifs très distincts, les tiges les plus vigoureuses dans chacun des traitements étaient tout aussi vigoureuses entre les traitements.

IV- Conclusions

A la lumière des observations faites 7 ans après l'application de traitements de scarifiage, il apparaît que l'application de ces traitements n'a en rien influencé la hauteur et la vigueur des individus de bouleau jaune actuellement présents dans les trouées et dominants de leur espèce. Cependant, il est évident que ces traitements ont affecté la densité d'individus de bouleau jaune et qu'un scarifiage sévère du sol (P) amène à la fois à produire 3 fois plus d'individus de bouleau jaune mais aussi un stocking d'avenir spatialement homogène 2 fois plus important. Il semble également qu'à tous les points de vue, un scarifiage par RD n'est pas plus profitable qu'un scarifiage par P et ne diffère bien souvent pas du T.

En dressant le portrait 7 ans après récolte et scarifiage (cf. Tableau 1), il apparaît donc que deux systèmes de régénération ont été générés. Le premier, avec le P, amène la production d'une grande quantité de lits de germination favorables au bouleau jaune et donc une densité de semis très élevée. De plus, ce traitement retire la végétation pré-établie et installe une forte compétition initiale intra et interspécifique (cette dernière étant principalement le cerisier de pennsylvanie). La croissance du bouleau jaune est donc en moyenne bonne puisque associée à de bons microsites. Cependant, dans ce système, une bonne proportion de ces semis a subi une forte compétition et une forte descente de cime alors qu'une autre proportion subit même une forte mortalité. Après 7 ans, la densité de bouleau jaune est encore élevée, et la vigueur des tiges restante est généralement très bonne. Cependant, on note que leur croissance moyenne est limitée et que la compétition avoisinante est encore forte ne permettant d'ailleurs aucun recrutement de nouveaux semis de bouleau jaune. Le second système, celui du T, instaure une diversité importantes de lits de germination, préserve une part de la végétation préétablie et produit une quantité acceptable de semis de bouleau jaune. La croissance initiale semble limitée mais la faible mortalité et la faible descente de cime sous ce traitement amène après 7 ans à la conservation d'une densité de tige de bouleau jaune acceptable ayant une vigueur en moyenne très bonne. De même la croissance des tiges est assez bonne pour ne pas être différente de celle observée dans le peigne.

Pour finaliser la compréhension et surtout la comparaison des différents traitements, il sera maintenant nécessaire de suivre l'évolution de la croissance (surtout pour le T et le P) ainsi que l'évolution de la

qualité des tiges, puisque ces critères pourraient modifier les conclusions actuelles sur ces traitements en faisant varier l'âge de la récolte ou la qualité des tiges récoltables.

Tableau 1. Récapitulatif des mécanismes impliquant la régénération du bouleau jaune et qui ont été observés après l'application de différents traitements de scarifiage du sol. Les résultats obtenus après 7 ans concerne l'analyse des plants de bouleau jaune les plus vigoureux de leur espèce.

	Traitement		
	Coupe automnale + Scarifiage par peigne (P)	Coupe automnale + Scarifiage par retrait de déchet (RD)	Coupe automnale (T)
Intensité de scarifiage	Très forte	Forte	Faible
Coût du traitement*	Elevé	Moyen	<i>ne s'applique pas</i>
Etablissement initial[†]	Très fort	Fort	Moyen
Croissance initiale[†]	Forte	Forte	Moyenne
Compétition générée[°]	Moyenne à Forte BOJ et CEP	Forte CEP et BOJ	Moyenne à faible ERX, BOJ et AUT
Recrutement à moyen terme[°]	NON	Possible	Oui
Stocking à moyen terme[°]	Très bon	Bon	Bon
Croissance à moyen terme[°]	Moyenne	Moyenne	Bonne
Vigueur à moyen terme[°]	Très bonne	Très bonne	Très bonne
Traitement d'amélioration à prévoir[#]	Oui	Oui	Probablement

* : cf. Nolet & Poirier (2001)

† : Suivi durant les 3 premières années après traitement (Bouffard & Nolet 2003, Lorenzetti et al. 2008)

° : Cette étude (7 ans après application des traitements).

: Par exemple un dégagement ou une éclaircie précommerciale

Implications pratiques de ces traitements de scarifiage:

Avant tout, il est important de se souvenir que cette étude se déroule sur un territoire historiquement favorable (de par sa qualité de site et son climat) à la pérennité du bouleau jaune. L'extrapolation des résultats et conclusions qui en découlent doit donc être faite en tenant compte de cette information.

Les résultats de ce suivi de régénération du bouleau jaune 7 ans après l'application de traitements de scarifiage (variant en intensité) mettent clairement en évidence l'importance de l'objectif souhaité de composition du peuplement. En effet, le stocking observé dans le T paraît concorder avec des objectifs de maintien de l'espèce comme essence dominante dans le peuplement (cf. Tableau 2). Ce stocking serait donc en accord avec l'objectif de conserver au moins une proportion équivalente au peuplement d'origine (cf. MRNFP 2003) qui contenait en 2000 une surface terrière de 11 m²/ha de bouleau jaune (Nolet et Poirier 2001). De plus, ce traitement en permettant le recrutement en continu de cette espèce semble établir le bouleau jaune de façon plus stable sous une forme multi cohortes.

Tableau 2. Simulation de la surface terrière (ST) attendue en bouleau jaune en fonction de son DHP de récolte.

DHP BOJ à la récolte (cm)	Traitement de scarifiage	ST BOJ à la récolte (m ² /ha)	BOJ dans la ST totale (%)*
30	P	18.8	72
	T	9.4	36
35	P	25.6	98
	T	12.8	49
40	P	33.4	100
	T	16.7	64

* : calculé pour une ST totale théorique de peuplement de 26 m²/ha au moment de la récolte.

Cependant, si l'objectif souhaité est d'atteindre une augmentation voire une quasi-totale couverture en bouleau jaune, le P demeure assurément le traitement qui le permettra le plus (cf. Tableau 2). Cependant, il faut reconnaître que ce traitement nécessitera certainement l'application de traitement(s) futur(s) tel(s) qu'un dégagement ou des éclaircies (pré-commerciales ou commerciales) pour éviter de possibles pertes de rendement. En effet, la croissance actuelle des individus dans ce traitement semble ralentir

comparativement au témoin, puisqu'une différence existait après 3 ans entre ces traitements et qu'elle s'est totalement estompée après 7 ans. Ceci est sûrement imputable à la pression de compétition qui est plus élevée dans le P que dans le T. En effet, on peut soupçonner que le caractère plus mono spécifique et mono cohorte de la régénération dans le P amène une compétition plus forte pour les mêmes ressources dans les mêmes compartiments (aérien et sous terrain).

Dans le cadre d'un aménagement extensif (c'est à dire d'une faible intervention avec un but de maintenir les proportions de bouleau jaune existantes), l'application d'un scarifiage en plus de la perturbation créée par la machinerie lors de la coupe ne semble donc pas absolument nécessaire. Ceci est d'autant plus vrai si le territoire s'avère propice au développement de cette espèce. En revanche, dans le cadre d'un aménagement intensif (c'est-à-dire d'une forte intervention soit pour s'assurer d'installer une dominance du bouleau jaune dans une aire où sa présence est faible ou soit pour transformer un peuplement en une bétulaie jaune) le scarifiage avec un peigne suite à une coupe automnale correspondrait à la méthode la plus certaine afin d'obtenir cet objectif. Dans les deux cas, on peut penser qu'il sera nécessaire d'appliquer des traitements d'amélioration. Si dans le cas d'un aménagement extensif seul un élagage par le bas serait à envisager pour améliorer la qualité des tiges, dans le cas de l'aménagement intensif un dégagement et/ou coupe pré-commerciale paraissent nécessaire pour consolider la croissance future et un élagage par le bas semble nécessaire pour en améliorer la qualité.

Remerciements :

Nous tenons à remercier Eric Caya (Simon Lussier Ltée) pour sa constante collaboration dans l'aboutissement de cette étude. Nous remercions également Julie Poirier, Mélanie Demers et Nadia Bergeron pour leur précieuse aide à la récolte des mesures sur le terrain et Srdjan Ostojic pour sa contribution dans la création de la base de données. Cette étude a été financée par le programme de mise en valeur du milieu forestier (PMVRMF Volet-I) du Ministère des Ressource naturelle et de la Faune du Québec (MRNFQ) sous le numéro de projet : PMV1-14-07-0504.

Références

- Beaudet, M., C. Messier, and A. Leduc. 2004. Understorey light profiles in temperate deciduous forests: Recovery process following selection cutting. *Journal of Ecology* 92:328-338.
- Bouffard, D., and P. Nolet. 2003. Étude de l'établissement de la régénération en bouleau jaune deux ans après un essai opérationnel de diverses méthodes de scarifiage intégré aux opérations de récolte dans les trouées. Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue. Ripon, Qc, Canada. 28p.
- Bouffard, D., F. Lorenzetti, and P. Nolet. 2004. Herbivorie et croissance après diverses intensités de dégagement chez de jeunes gaules de bouleau jaune : résultats après deux saisons de croissance. Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue, Ripon, Qc. Canada, 21p.
- Bouffard, D., P. Nolet, S. Delagrange, F. Lorenzetti, and S. Yamasaki. 2007. Vegetation control treatments to favour naturally regenerated *Betula alleghaniensis* saplings following seed-tree cut: Sapling monitoring two years after treatment. *Restoration Ecology* 15:679-687.
- Erdmann, G. G. 1990. *Betula alleghaniensis* Britton, Yellow Birch. *Silvics of North America: Hardwoods*. E.U. Forest service, Washington. Pages 133-147
- Hintze, J. L. 2004. NCSS and Pass. Number Cruncher Statistical Systems. Kaysville, Utah. www.ncss.com.
- Lorenzetti, F., S. Delagrange, D. Bouffard, and P. Nolet. 2008. Establishment, survivorship, and growth of yellow birch seedlings after site preparation treatments in large gaps. *Forest Ecology and Management* 254:350-361.
- Nolet, P., F. Doyon, and Sougavinski S. 2001a. Guide de remise en production des sites à vocation bouleau jaune mal régénérés après coupe à diamètre limite et coupe progressive d'ensemencement dans la région de Lanaudière. Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue, Ripon, Qc. Canada, 44p.
- Nolet, P., E. Forget, D. Bouffard, and F. Doyon. 2001b. Reconstitution historique du dynamisme du paysage forestier du bassin de La Lièvre au cours du 20ième siècle. Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue. Ripon, Qc. Canada, 114 p.
- Nolet, P., and 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. Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue. Ripon, Qc, Canada, 25 p.
- Robitaille A., and Saucier J.-P. 1998. Paysages régionaux du Québec méridional, Les Publications du Québec. Québec, Qc, Canada, 213 p.

Annexes

Annexe 1 : Résumé des résultats du GLM ANOVA pour le stocking de bouleau jaune mesurée en fonction des 3 traitements de scarifiage.

Stocking Qualitatif					
Term	Df	S of S	M S	F	p
TRAIT	2	4928.53717	2464.26859	5.83	0.0133*
S	15	6335.80672	422.387114		

Stocking Qualitatif d'Avenir					
Term	Df	S of S	M S	F	p
TRAIT	2	3069.39494	1534.69747	3.86	0.0443*
S	15	5956.23741	397.082494		

Stocking Quantitatif					
Term	Df	S of S	M S	F	p
TRAIT	2	51967592.9	25983796.4	4.55	0.0285*
S	15	85659878.5	5710658.57		

Stocking Quantitatif d'Avenir					
Term	Df	S of S	M S	F	p
TRAIT	2	547046.032	273523.016	0.37	0.6946
S	15	10987828.1	732521.873		

Annexe 2 : Résumé des résultats du GLM ANOVA pour les caractéristiques de la compétition évaluées 3 m autour des gaules de bouleau jaune suivies.

Espèce Compétitrice					
Term	Df	S of S	M S	F	p
Peigne					
Type SP.	3	4759.88354	1586.62785	6.21	0.0037*
S	20	5107.80818	255.390409		
Retrait Déchet					
Type SP.	3	3224.4701	1074.82337	3.4	0.0376*
S	20	6316.33554	315.816777		
Témoin					
Type SP.	3	426.192671	142.064224	1.52	0.2406
S	20	1872.44214	93.6221071		

%BOJ					
Term	Df	S of S	M S	F	p
TRAIT	2	788.50386	394.25193	1.68	0.2191
S	15	3515.36363	234.357575		

%CEP					
Term	Df	S of S	M S	F	p
TRAIT	2	939.216525	469.608262	1.43	0.2700
S	15	4924.71029	328.314019		

%ERX					
Term	Df	S of S	M S	F	p
TRAIT	2	1020.34793	510.173964	2.75	0.0963
S	15	2787.10916	185.807277		

%AUT					
Term	Df	S of S	M S	F	p
TRAIT	2	1214.47218	607.236091	4.4	0.0313*
S	15	2069.40279	137.960186		

Hauteur_MOY_COMP					
Term	Df	S of S	M S	F	p
TRAIT	2	1.7457355	0.87286775	4.8	0.0244*
S	15	2.72795655	0.18186377		

Densité_MOY_COMP					
Term	Df	S of S	M S	F	p
TRAIT	2	7911225.75	3955612.87	5.3	0.0181*
S	15	11191160.5	746077.368		

Annexe 3 : Résumé des résultats du GLM ANOVA pour les caractéristiques du statut de dominance des gaules de bouleau jaune suivies.

Type de statut					
Term	Df	S of S	M S	F	p
Peigne					
STATUT	3	2863.69961	954.566536	10.67	0.0002*
S	20	1788.66323	89.4331616		
Retrait Déchet					
STATUT	3	2148.18095	716.060318	4.47	0.0146*
S	20	3200.61066	160.030533		
Témoin					
STATUT	3	2512.275	837.425	6.16	0.0038*
S	20	2719.45223	135.972612		
<hr/>					
%Dominant					
Term	Df	S of S	M S	F	p
TRAIT	2	173.849202	86.9246008	0.78	0.4762
S	15	1672.22094	111.481396		
<hr/>					
%Codominant					
Term	Df	S of S	M S	F	p
TRAIT	2	194.338805	97.1694023	1.01	0.3890
S	15	1448.89048	96.5926985		
<hr/>					
%Intermédiaire					
Term	Df	S of S	M S	F	p
TRAIT	2	413.486119	206.743059	1.3	0.3010
S	15	2381.71678	158.781119		
<hr/>					
%Supprimé					
Term	Df	S of S	M S	F	p
TRAIT	2	204.284821	102.14241	0.69	0.5146
S	15	2205.89792	147.059861		

Annexe 4 : Résumé des résultats du GLM ANOVA pour les caractéristiques de croissance évaluées pour les gaules de bouleau jaune suivies.

Hauteur					
Term	Df	S of S	M S	F	p
TRAIT	2	7922.8401	3961.42005	3.36	0.0622
S	15	17682.2294	1178.81529		

DHP					
Term	Df	S of S	M S	F	p
TRAIT	2	24.2048236	12.1024118	1.63	0.2281
S	15	111.147634	7.40984229		

Annexe 5 : Résumé des résultats du GLM ANOVA pour les caractéristiques de vigueur évaluées pour les gaules de bouleau jaune suivies.

Arbre H/D					
Term	Df	S of S	M S	F	p
TRAIT	2	5.16E-02	2.58E-02	1.48	0.2594
S	15	0.26187365	1.75E-02		

Cime H/D					
Term	Df	S of S	M S	F	p
TRAIT	2	0.18536686	9.27E-02	3.42	0.0597
S	15	0.40648394	2.71E-02		

%Cime vivante					
Term	Df	S of S	M S	F	p
TRAIT	2	53.0663058	26.5331529	1.13	0.3475
S	15	350.664276	23.3776184		

SPAD					
Term	Df	S of S	M S	F	p
TRAIT	2	7.96102319	3.9805116	0.91	0.4236
S	15	65.6094553	4.37396369		