

**SUIVI A MOYEN TERME DE TRAITEMENTS D'AMELIORATION
DE LA REGENERATION DU BOULEAU JAUNE :
I- REMESURE 6 ANS APRES DEGAGEMENT DU GAULIS**

Rapport Final
(2007-2008)

présenté par

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

à



et à



Direction régionale de Lanaudière

Février 2008



Institut québécois d'Aménagement
de la Forêt feuillue

Résumé

Ce document regroupe l'information correspondant à la **première partie** d'une étude de remesure de la performance du bouleau jaune après application de traitements d'amélioration de sa régénération. Cette première partie concerne exclusivement une analyse de la compétition, la vigueur et la croissance d'une population de gaules de bouleau jaune **6 ans après l'application de différentes méthodes de dégagement**. En effet, au printemps 2002, 8 ans après la récolte finale d'une coupe avec réserve de semenciers, 3 méthodes de dégagement ont été testées afin de garantir un avenir prometteur à la régénération de bouleau jaune qui s'était établie après coupe mais qui avait été jugée insuffisamment stockée et donc à risque. Parallèlement aux parcelles dégagées, des parcelles témoins avaient été suivies afin d'identifier les gains effectifs de tels traitements par rapport à la non intervention.

En début d'automne 2003, 2 saisons de croissance après traitement, un premier suivi avait été réalisé (Bouffard et al. 2004; Bouffard et al. 2007) et avait amené à la conclusion que le dégagement des gaules d'avenir augmentaient finalement peu leur survie et leur croissance (exclusivement en diamètre) par rapport aux tiges non dégagées. Si les gaules dégagées semblaient avoir une croissance plus équilibrée (pas d'étiollement de la tige), le suivi démontrait clairement que celles-ci s'exposaient à un broutage important de leur cime pouvant même, dans certaines parcelles, annuler les gains de croissance obtenus grâce au contrôle de la végétation. Dans ce secteur, la densité de chevreuil étant évaluée comme faible à modérée, de grandes précautions avaient été émises quant à l'utilisation des traitements sévères de dégagement sans connaissance des populations locales de chevreuils.

En début d'automne 2007, 6 ans après traitement, un second suivi a été réalisé sur l'environnement de compétition, la vigueur et la croissance des individus dégagés et non dégagés. Cette remesure confirme que le gain en croissance est modéré et qu'il se retrouve uniquement au niveau du diamètre. Aucun impact de broutage n'a été mis en évidence sur la forme de la cime ou la vigueur des individus, mais il n'est pas exclu que ces faibles différences de croissance puissent provenir d'une empreinte négative laissée par le broutage observé dans les premières années sur les individus dégagés. Seule différence notable, le pourcentage de cime occupant la tige était significativement plus bas pour les individus témoins ce qui leur offrait 40 cm de plus de tige libre de branches (soit $\approx 10\%$ de la hauteur). Ainsi après 6 ans, la problématique concernant l'investissement dans un traitement de dégagement sur ces sites reste entière. En effet, il paraît, encore aujourd'hui, difficile de justifier ces investissements par rapport au seul et faible gain observé pour la croissance. De plus, un suivi de l'évolution de la qualité des tiges est maintenant essentiel. En effet, en considérant les différences observées de longueur de tige libre de branches, on pourrait soupçonner un impact négatif de certains traitements de dégagement sur la qualité future des arbres. Un avis sur chacun des traitements, 6 ans après leur application, est fourni en conclusion.

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 dégagement et design expérimental	2
3. Analyses statistiques.....	4
III- Résultats & Discussion.....	6
1. Environnement compétitif 6 ans après traitements de dégagement.....	6
2. Performance du bouleau jaune en fonction des traitements de dégagement	7
Survie	7
Statut de dominance	7
Croissance	8
Vigueur.....	9
3. Relations croissance, statut et végétation compétitrice chez le bouleau jaune.....	10
IV- Conclusions.....	14
Implications pratiques de l'application de traitements de dégagement :	15
Remerciements :.....	16
Références	17
Annexes.....	18

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 et le renouvellement de cette espèce dans certaines forêts d'Amérique du Nord s'avèrent problématique (Woods 2000; Nolet et al. 2001b). Aujourd'hui, plusieurs causes ont été identifiées pour expliquer le défaut de régénération du bouleau jaune, 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 étant 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 2002 (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 présent document, les résultats discutés et les conclusions émises concerne la remesure des gaules de bouleau jaune 6 ans après l'application de traitements de dégagement d'intensités 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 et 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 dégagement et design expérimental

Le dispositif expérimental aléatoire complet a été mis en place en 2001 dans un secteur soumis auparavant à une coupe progressive d'ensemencement (coupe initiale en 1994 et coupe finale à l'automne 2000). Les peuplements présents avant la coupe étaient soit des bétulaies jaunes ou encore des peuplements mixtes à dominance de feuillus dans lesquels prédominait le bouleau jaune. L'âge moyen des peuplements avoisinait les 90 ans. Le dépôt de surface au niveau du site d'étude est composé d'un till indifférencié d'épaisseur moyenne (50 cm à 1 m), caractérisé par une très forte pierrosité, et sur lequel s'est développé un sol de nature podzolique à texture sableuse à sable-loameux.

À l'automne 2001, 32 parcelles de forme carrée d'une superficie de 0.25 hectare ont été délimitées dans le secteur d'étude de telle manière que le centre de chacune d'entre elle soit située à 75 m des autres. Ces parcelles ont été distribuées à l'intérieur de deux zones d'apparence similaire distantes l'une de l'autre d'environ 500 m et contenant respectivement 20 et 12 parcelles. La séparation physique entre ces deux blocs est imputable à la présence d'un îlot de résineux de bonne superficie localisé dans la partie centrale du flanc de montagne étudié.

Au début du mois de juin 2002, un traitement de dégagement a été assigné de façon aléatoire à chacune des parcelles. Dans le cadre de cette étude, trois types de dégagement ont été étudiés : 1) le dégagement traditionnel par puit de lumière, nommé dans cette étude comme un dégagement total et circulaire (TC). Ce dégagement consiste en l'élimination de toute trace de végétation compétitrice sur 360° autour de la tige d'avenir (MRN 1999). 2) un dégagement partiel et circulaire (PC), très populaire en France et consistant en l'élimination de la végétation compétitrice dont la hauteur est égale ou supérieure à 75% de celle de la hauteur de la tige choisie. 3) une nouvelle méthode dite en demi-lune et correspondant à un dégagement total mais semi circulaire (TS) soit sur 180° autour de la tige cible. Pour chacun de ces traitements de dégagement, le contrôle de la végétation a été fait sur un rayon de 75 cm autour de la cime de la tige d'avenir. Enfin, 8 parcelles où aucun contrôle de la végétation (NC) n'a été pratiqué ont servi de témoins à des fins de comparaisons.

En 2007, à la fin de la saison de croissance, 28 parcelles (6 TC, 7 PC, 7 TS et 8 NC) ont été revisitées et 10 individus (sur les 20 ayant été préalablement suivi ; cf. Bouffard et al. 2004) par parcelles ont été échantillonnés. Sur ces individus, des mesures de statut (dominant, co-dominant, intermédiaire et supprimé), 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 3 m) ont été réalisées. Ensuite, la hauteur et la moyenne du diamètre le plus large et du diamètre perpendiculaire de la cime ont été déterminées. À 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 ne varie pas 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 une 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 parcelle, c'est-à-dire sur la moyenne de tous les individus mesurés dans une parcelle. 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 dégagement pour la composition en espèce, la hauteur moyenne et la densité moyenne de la compétition dans un rayon de 3 m autour des individus cibles de bouleau jaune. Une ANOVA a également été utilisée 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.

Finalement, pour mieux comprendre les mécanismes qui s'exerçaient dans les parcelles suivies, des régressions linéaires ont été produites entre les variables corrélées mises en évidence dans le test de corrélation. On notera que pour l'analyse de corrélation ainsi que pour les régressions linéaires, toutes les parcelles ont été regroupées dans la même analyse sans distinction des traitements qui ont été appliqués.

III- Résultats & Discussion

1. Environnement compétitif 6 ans après traitements de dégagement

Finalement peu de différences ont été observées dans la caractérisation de la végétation compétitrice 6 ans après application des traitements de dégagement. Il n'y avait en effet pas de différences dans la composition en espèce (Figure 1A, Annexe 1) ni dans la hauteur moyenne (Figure 2A, Annexe 1) de la compétition dans un rayon de 3 m autour des individus suivis qu'ils aient été dégagés ou non.

En revanche, 6 ans après traitement, la densité de gaules compétitrices demeure significativement différente en fonction de l'intensité des traitements de dégagement effectués (Figure 1C, Annexe 1). Plus l'intensité du dégagement a été forte et plus la densité actuelle de gaules compétitrices est faible.

L'empreinte laissée par les traitements de dégagement se retrouve donc essentiellement au niveau d'une variabilité de la densité de tiges résiduelles (dans un rayon de 3 m) plutôt que dans le type ou la hauteur moyenne de la compétition. Cependant, il faudra aussi garder en mémoire l'aspect de répartition spatiale de cette densité. Par exemple, la faible densité observée dans le TC, provient surtout d'une très faible densité dans le premier mètre autour de l'individu (amenée par le dégagement en puit de lumière). De même, si le PC et le TS ont des densités semblables, le PC possède une densité moyenne répartie tout autour de la tige alors que le TS possède une densité forte sur 180° et une densité très faible sur l'autre 180°.

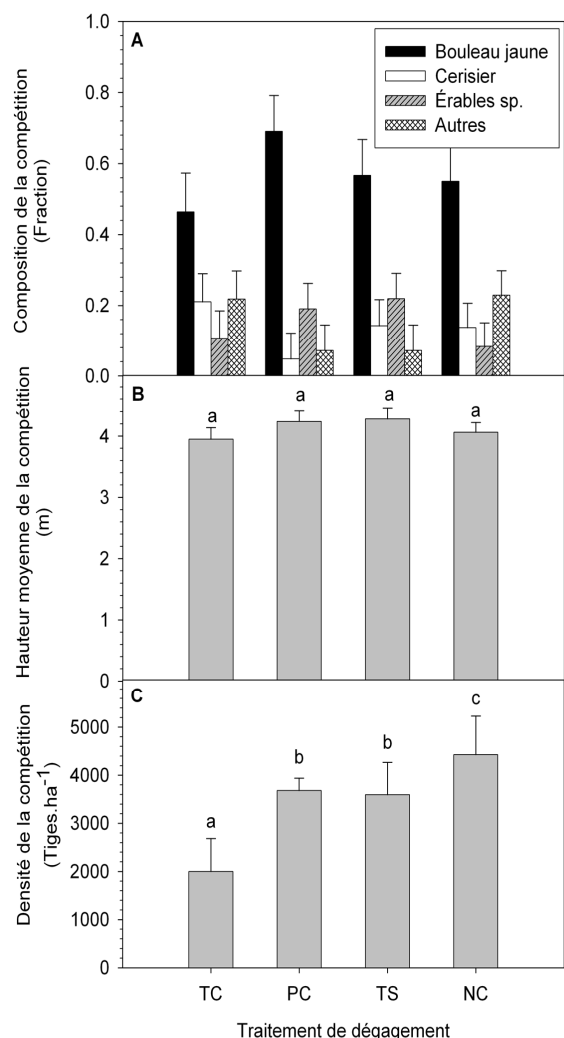


Figure 1. Moyennes et écart types (A) de la fraction de la composition en espèce, (B) de la hauteur moyenne et (C) de la densité moyenne de tige de la végétation compétitrice dans un rayon de 3 m en fonction des traitements de dégagement (TC : total circulaire, PC : partiel circulaire, TS : total semi circulaire et NC : non contrôlé). Différentes lettres correspondent à des différences significatives à $\alpha = 0.05$.

2. Performance du bouleau jaune en fonction des traitements de dégagement

Survie

La survie des individus dans l'ensemble des parcelles a été très bonne et cela quel que soit le traitement de dégagement appliqué (données non montrées). Aucune différence dans la survie moyenne des individus n'a donc pu être mise en évidence (données non montrées).

Statut de dominance

Le statut de dominance des individus mesurés 6 ans après application des traitements varie significativement en fonction de l'intensité de dégagement. Plus l'intensité de dégagement a été sévère, plus la proportion d'individus dominants augmente. Ainsi, on passe d'une moyenne de 76% d'individus dominants après un dégagement traditionnel à une moyenne de 35% de dominants dans les parcelles témoins (Figure 2, Annexe 2). A l'inverse, la proportion d'individus co-dominants diminue avec l'intensité du dégagement réalisé, passant de moins de 10% après un dégagement traditionnel à 35% dans les parcelles non dégagées (Figure 2, Annexe2).

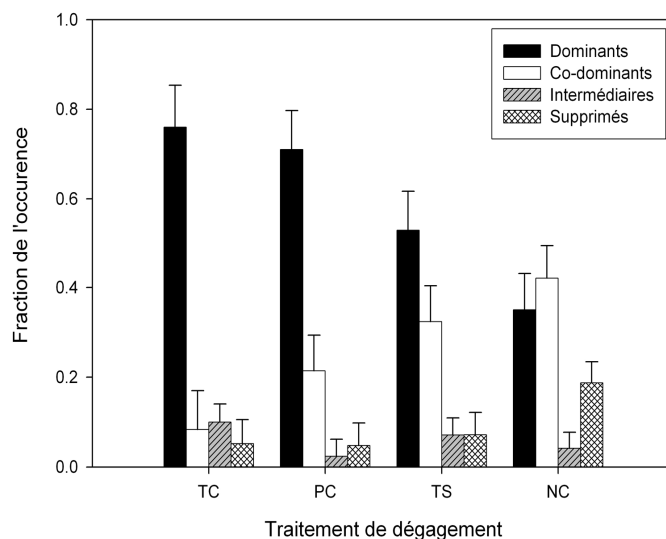


Figure 2. Moyennes et écart types des fractions de la proportion de bouleau jaune au statut dominant, co-dominant, intermédiaire et supprimés dans les parcelles suivies et en fonction du traitements de dégagement (TC : total circulaire, PC : partiel circulaire, TS : total semi circulaire et NC : non contrôlé).

Bien qu'on retrouve en moyenne plus d'individus supprimés dans les parcelles témoins (Figure 2), aucune différence significative n'apparaît entre les différents traitements en ce qui concerne les proportions d'individus intermédiaires et supprimés (Annexe 2). Finalement, on notera que la sommation des proportions d'individus dominants et co-dominants avoisinait les 80%, quelque soit le traitement de dégagement appliqué.

Six ans après l'application des traitements, les dégagements effectués ont donc principalement permis de diminuer la proportion d'individus co-dominants pour les amener à un statut d'individu dominant (jusqu'à 80% de transfert pour le traitement le plus intense [i.e., TC]) comparativement au NC. Ceci sous-entend également que les individus identifiés comme tige d'avenir au début de l'étude l'étaient effectivement puisque 6 ans plus tard près de 80% de celles-ci sont demeurées soit dominantes soit co-dominantes et cela même sans enlèvement de la compétition.

Croissance

Comme cela avait été le cas 2 ans après l'application des traitements, aucune différence statistique n'est apparue entre les moyennes de hauteur des gaules qui aient été traitées ou non par un dégagement (Figure 3A, Annexe 3). Ainsi, l'application du dégagement le plus sévère (TC) n'a amené qu'un gain de 50 cm de hauteur (soit un gain de 13%) par rapport au témoin. On notera que le traitement qui a produit le gain en hauteur moyen le plus important après 6 ans (80 cm soit 21% de mieux que le témoin) est le traitement PC.

En ce qui concerne la croissance en diamètre, les différences visibles 2 ans après traitements sont demeurées présentes après 6 ans (Figure 3B, Annexe 3). Les dégagements de plus forte intensité (TC et PC) ont donc amené à des gains de croissance diamétrale plus élevés (soit 48% pour le TC et 60% pour le PC).

Par conséquent, le gain en croissance amené par le contrôle de la végétation compétitrice s'exprime principalement au niveau du diamètre des individus, ce qui sous-entend également une augmentation notable au niveau de l'accumulation de biomasse.

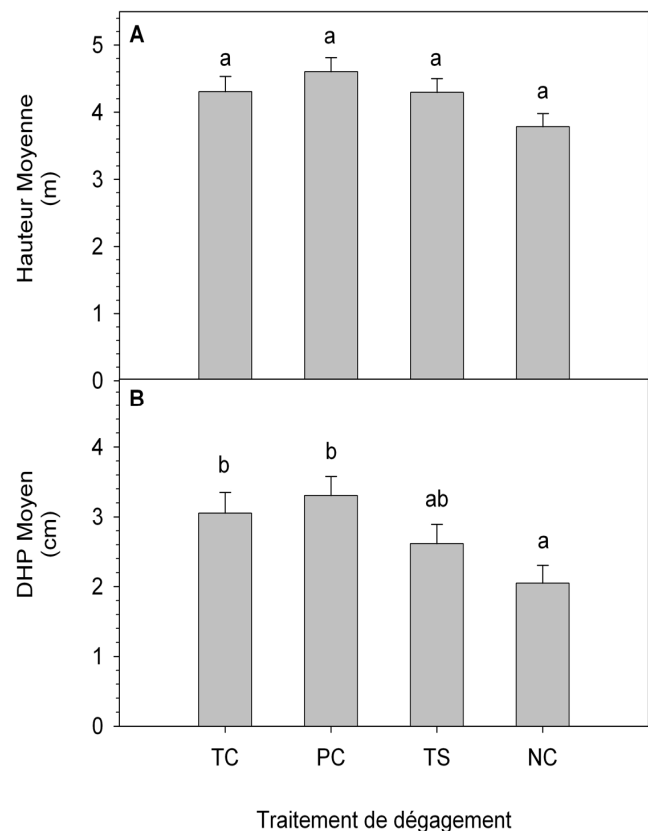


Figure 3. Moyennes et écart types de la hauteur (A) et du DHP (B) moyen du bouleau jaune en fonction des traitements de dégagement (TC : total circulaire, PC : partiel circulaire, TS : total semi circulaire et NC : non contrôlé). Différentes lettres correspondent à des différences significatives à $\alpha = 0.05$.

Finalement, aucun gain significatif en hauteur n'a été apporté par les traitements de dégagement. Bien qu'aucune marque de broutage n'a pu être décelée 6 ans après l'application des traitements, l'impact préoccupant qui avait été observé sur la croissance des individus les plus dégagés après 2 ans pourrait expliquer la croissance étonnamment limitée (surtout en hauteur) des individus dégagés (Figure 3A et B).

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 N).

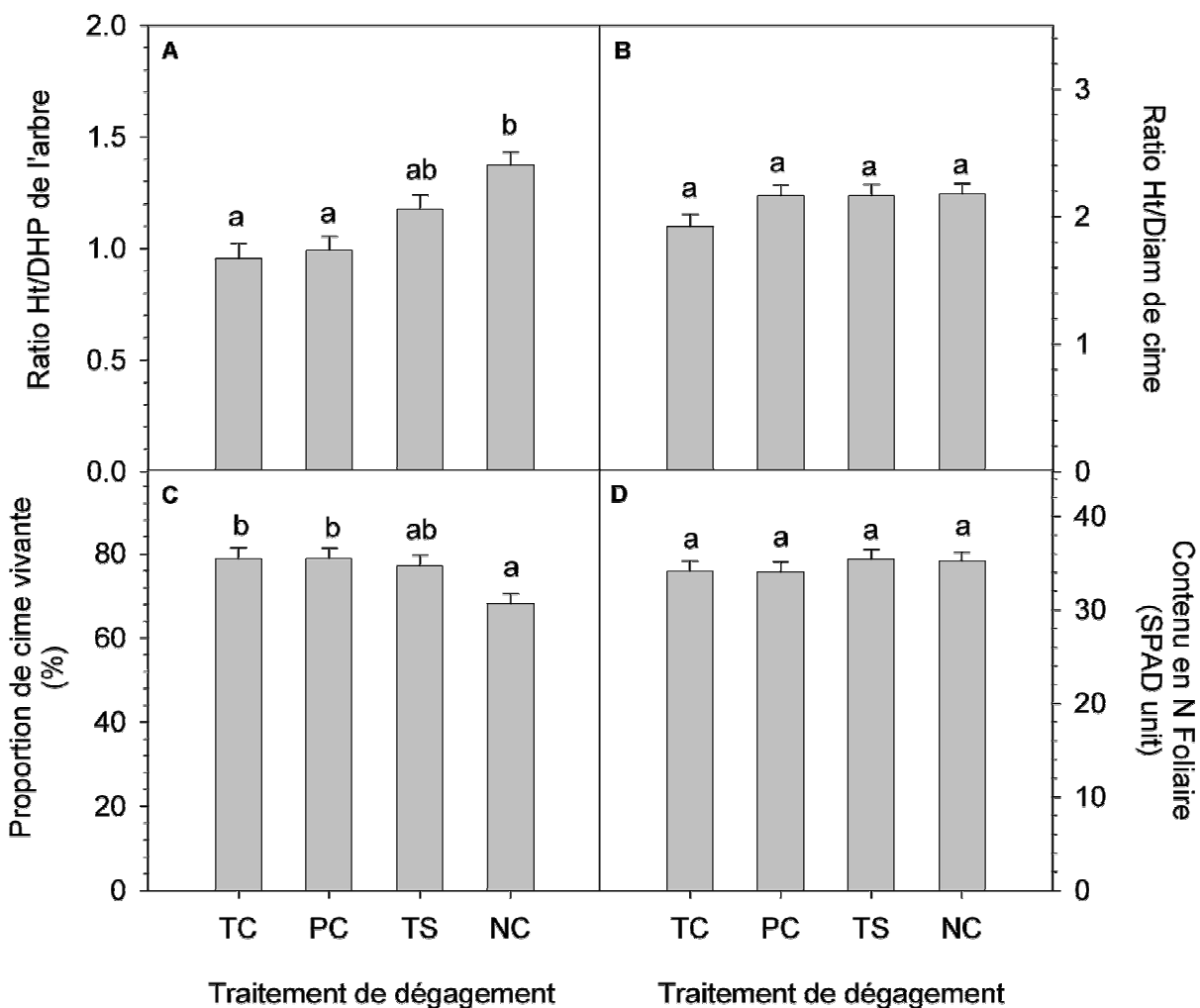


Figure 4. Moyennes et écart types des paramètres caractérisant la vigueur de l'individu (A : Ht/DHP de l'arbes), la vigueur de la cime (B : Ht/diam de cime, C : proportion de cime vivante) et la vigueur foliaire (D : Contenu en azote foliaire) en fonction des traitements de dégagement (TC : total circulaire, PC : partiel circulaire, TS : total semi circulaire et NC : non contrôlé). Différentes lettres correspondent à des différences significatives à $\alpha = 0.05$.

Comme il avait été remarqué 2 ans après traitement, l'augmentation de l'intensité de dégagement a diminué le rapport hauteur sur diamètre de l'arbre (Ratio Ht/DHP ; Figure 4A, Annexe 4) l'amenant à une valeur proche de 1 (valeur correspondant à un individu avec une très bonne vigueur). Ceci confirme donc que les individus les moins dégagés continuent (6 ans après traitement) à s'étioler, c'est-à-dire à sacrifier une part de leur croissance en diamètre pour obtenir des croissances en hauteur équivalentes aux arbres dégagés (cf. aussi Figure 3). Ensuite, la morphologie de la cime des individus (ratio H/D de la cime ; Figure 4B, Annexe 4) n'a pas été affectée par les différents traitements de dégagement. D'un autre côté, bien que tous les traitements de dégagement aient amené à des proportions de cime vivante correspondant à des individus vigoureux (c'est-à-dire > 50% de la hauteur de l'arbre), on a pu observer qu'en moyenne, les individus témoins avaient une proportion de cime significativement inférieure à la plupart des individus dégagés (Figure 4C, Annexe 4). Ceci s'explique simplement du fait que chez les individus non dégagés, la plus forte compétition autour du tronc a occasionné un élagage naturel des branches basses. Finalement, aucune différence n'a été notée dans la vigueur foliaire (contenu en N des feuilles ; Figure 4D, Annexe 4), ce qui suggère que la compétition présente autour des individus suivis sur ce site ne s'applique pas au niveau d'une ressource du sol telle que la disponibilité en azote.

L'application de traitements de dégagement n'a donc que très faiblement amélioré la vigueur des gaules suivis. Seule une réduction de l'étiollement qui est une caractéristique classique chez le bouleau jaune lorsqu'il est en compétition (Bouffard et al. 2007, Lorenzetti et al. 2008) a pu être notée. De plus, on peut se demander si l'application de ces traitements pourrait avoir un effet négatif sur la qualité de la tige produite du fait que les individus dégagés peuvent produire et conserver des branches vivantes plus bas sur le tronc, diminuant significativement la portion de tronc libre de branches.

3. Relations croissance, statut et végétation compétitrice chez le bouleau jaune

Un regard plus détaillé des relations entre la croissance du bouleau jaune et la végétation compétitrice qui l'entoure a été porté en faisant abstraction du traitement de dégagement appliqué dans chaque parcelle. Ainsi, l'analyse de corrélation a permis de mettre en évidence que la variabilité de croissance en

hauteur et en diamètre observée chez le bouleau jaune parmi les parcelles suivies n'était en rien associée avec la composition de la végétation compétitrice (Table 1).

En revanche, la croissance en hauteur du bouleau jaune était significativement associée à la hauteur moyenne de la végétation compétitrice avoisinante (Tableau 1, Figure 5). Ceci suggère donc que le bouleau jaune pourrait ajuster sa croissance en hauteur (probablement en sacrifiant une part de sa croissance en diamètre) pour rester compétitif en terme d'occupation du sommet de la couverture végétale.

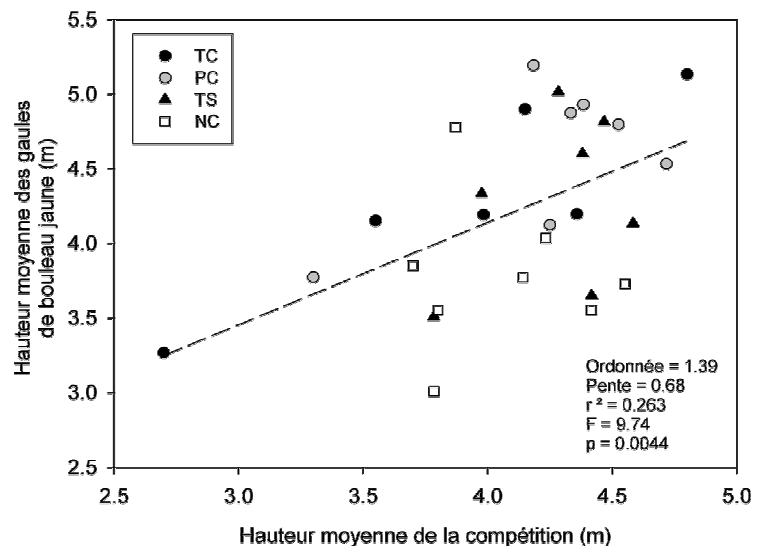


Figure 5. Régression linéaire entre la hauteur moyenne de la compétition et la hauteur moyenne du bouleau jaune. (TC : total circulaire, PC : partiel circulaire, TS : total semi circulaire et NC : non contrôlé)

Tableau 1. Résultats de l'analyse de corrélation (Coefficient de Pearson) pour les associations entre la croissance moyenne du bouleau jaune (hauteur moyenne et DHP moyen) et certaines caractéristiques (composition, hauteur moyenne, densité de tige) définissant la végétation compétitrice dans un rayon de 3 m.

		Caractéristiques de la compétition					
		% BOJ	% CEP	% ERX	% AUT	Hauteur	Densité
Croissance du bouleau jaune	Hauteur moyenne	0.112 ns	0.116 ns	0.082 ns	- 0.317 ns	0.522 **	0.293 ns
	DHP moyen	0.181 ns	0.077 ns	- 0.024 ns	- 0.255 ns	0.334 ns	- 0.391 *

Parallèlement, on observe que la croissance en diamètre est significativement et uniquement dépendante de la densité de tige de la compétition dans un rayon de 3 m (Tableau 1, Figure 6). En effet, plus la densité de tige de la compétition augmente et plus la croissance diamétrale est réduite. Ceci s'explique d'abord via l'occupation de l'espace, mais on peut difficilement conclure qu'une compétition envers les nutriments s'exerçait du fait que la vigueur foliaire ne différait pas en fonction de la hauteur ou de la densité de la compétition (données de corrélation non présentées). On pourrait cependant supposer une augmentation de la compétition pour la lumière avec l'augmentation de la densité de la compétition

du fait que la densité de la compétition était significativement et négativement corrélée avec la proportion de cime vivante (coefficient de Pearson = -0.551, $p=0.002$). Une diminution de la proportion de cime vivante est habituellement reliée à une diminution de disponibilité en lumière et par conséquent à la mortalité des branches les plus basses (Sprugel et al. 1991). Néanmoins, les valeurs de l'ensemble des caractéristiques (incluant la proportion de cime vivante) décrivant la vigueur de la cime sont demeurées très satisfaisantes pour toutes les parcelles suivies.

Par conséquent, on comprend bien que si l'application des traitements de dégagement n'a pas affecté la hauteur de la végétation compétitrice, aucune différence de hauteur moyenne n'a été observée au sein des parcelles mesurées en fonction des méthodes de dégagement.

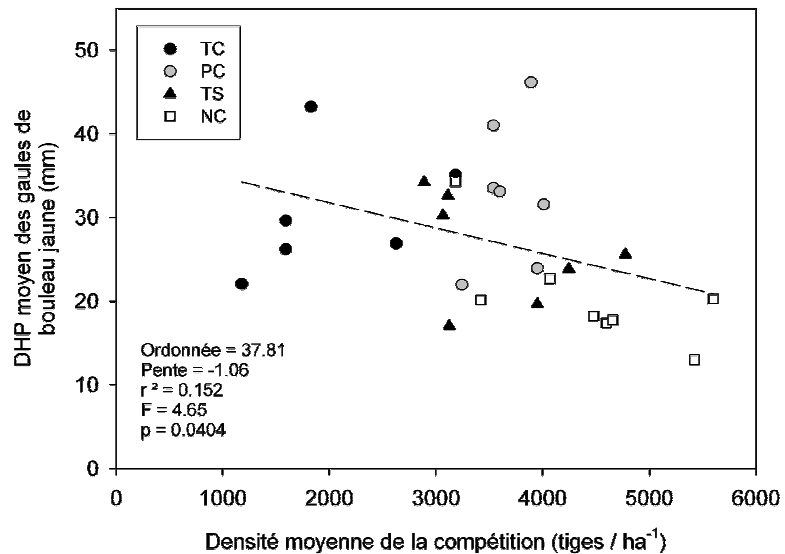


Figure 6. Régression linéaire entre la densité de tige de la compétition et le DHP moyen du bouleau jaune. (TC : total circulaire, PC : partiel circulaire, TS : total semi circulaire et NC : non contrôlé)

Par contre, la réduction de la densité de tiges compétitrices amenée par l'application des traitements a eu pour effet de fournir plus d'espace et légèrement plus de lumière aux individus dégagés ce qui leur a permis de conserver des branches vivantes plus basses sur leur tronc. Ce pourcentage de cime vivante légèrement plus élevé pour les individus dégagés, combiné avec une disponibilité en lumière légèrement plus forte, est donc probablement responsable du gain en croissance diamétrale observé après dégagement. Cependant, en considérant que la vigueur dans l'ensemble des parcelles suivies était tout à fait satisfaisante, ce gain de croissance devrait d'abord être considéré comme la possibilité d'une croissance équilibrée plutôt que comme un gain absolu de productivité.

Tableau 2. Résultats de l'analyse de corrélation (Coefficient de Pearson) pour les associations entre la proportion de tiges dominantes de bouleau jaune dans la parcelle (%D) et la croissance (hauteur moyenne et DHP moyen) et certaines caractéristiques (hauteur moyenne, densité de tige) définissant la végétation compétitrice dans un rayon de 3 m.

	Caractéristiques de la compétition		Caractéristiques du bouleau jaune	
	Hauteur de compétition	Densité de compétition	Hauteur BOJ	DHP BOJ
%D	0.175 ns	- 0.398 *	0.706 ***	0.661 ***

Autre résultat intéressant, il apparaît clairement que le pourcentage de bouleau jaune au statut dominant dans la parcelle (%D) soit, sur ce site, un bon indicateur de la compétition avoisinante moyenne ainsi que de la croissance moyenne des individus cibles. En effet, on a observé que le %D était significativement corrélé à la hauteur, au DHP et ainsi qu'à la densité de la compétition dans un rayon de 3 m (Table 2, Figure 7).

Ainsi, ce facteur intégrateur calculé à l'échelle de la parcelle permettrait à la fois d'estimer sommairement l'environnement dans lequel les gaules se développent mais également le potentiel de croissance des gaules présentes.

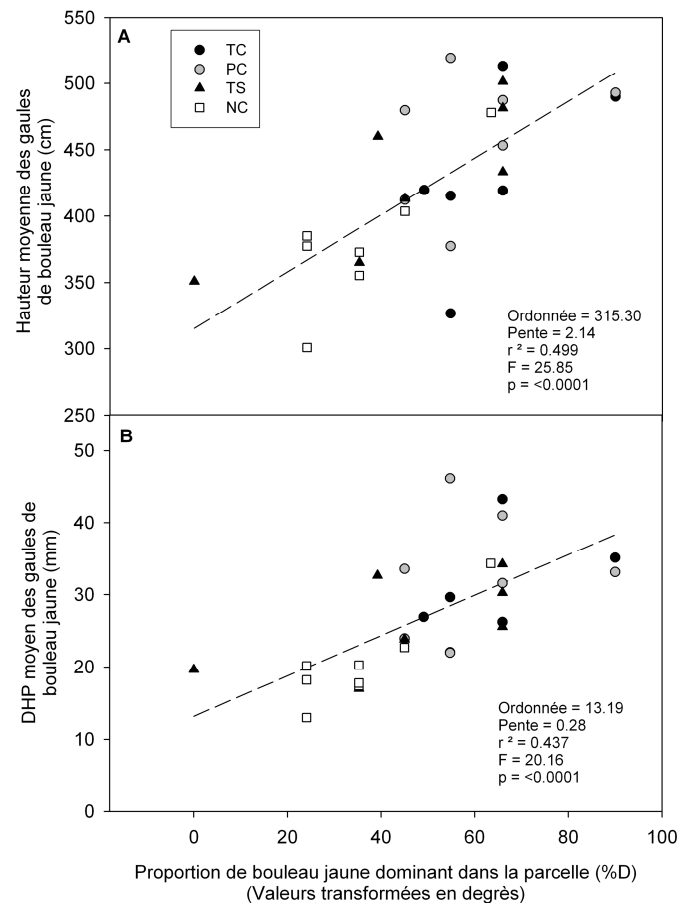


Figure 7. Régression linéaire entre la proportion de bouleau jaune dominant dans la parcelle et (A) la hauteur moyenne et (B) le DHP moyen du bouleau jaune. (TC : total circulaire, PC : partiel circulaire, TS : total semi-circulaire et NC : non contrôlé)

IV- Conclusions

A la lumière des observations faites 6 ans après l'application de traitements de dégagement, il apparaît que les gains en survie, croissance et vigueur peuvent être considérés comme modérés et même décevants par rapport aux individus non dégagés. En effet, le résultat le plus étonnant de cette étude réside dans le fait que la survie, la croissance et la vigueur des parcelles NC étaient tout à fait acceptables et comparables aux individus dégagés. Il est évident que le dégagement appliqué a, tout de même, soulagé les gaules de bouleau jaune en leur offrant un gain d'espace et assurément de disponibilité en lumière. Cependant, ce gain s'est plutôt transformé en une opportunité de croissance équilibrée qu'en un gain de productivité absolue. De plus, l'impact de ce gain pourrait comporter un effet négatif sur la morphologie de la cime et la qualité globale du bouleau jaune. En effet, il semble que l'ouverture rapprochée créée par le dégagement (principalement les traitements TC et TS) a permis aux gaules de bouleau jaune d'accroître le développement horizontal de leur cime et cela par la survie ou la création de branches basses sur le tronc. Il en résulte donc que les individus dégagés ont eu une productivité supérieure aux individus non dégagés mais que ce gain s'est retrouvé dans la présence de branches qui pourraient finalement affecter la qualité de la tige et même nécessiter un second traitement d'amélioration (tel qu'un élagage par le bas).

A partir de tels résultats, la question importante de l'investissement placé dans ces traitements par rapport au gain de productivité amené par leur application devient primordiale, surtout sur ces sites qui sont reconnus pour être très favorables à l'établissement, la survie et la croissance du bouleau jaune (Lorenzetti et al. 2008). En effet, un gain de croissance aussi modéré que celui qui a pu être mis en évidence dans cette étude, peut-il justifier les efforts et les montants d'argent investis ? Une analyse de coûts des traitements (ainsi qu'une quantification monétaire du gain observé de productivité) devrait donc être planifiée pour mieux définir les attentes à avoir en terme de retours sur investissement. Ensuite, il apparaît primordial de définir, dans un futur suivi, la qualité des tiges dégagées et non dégagées. Le but premier de la sylviculture de feuillus nobles tels que le bouleau jaune étant la production de tiges de qualité, il serait important de vérifier si les traitements d'amélioration appliqués ne sont pas en train d'améliorer la productivité au détriment de la qualité.

Implications pratiques de l'application de traitements de dégagement :

Parmi les traitements, le PC semble, 6 ans après son application, être le plus prometteur en terme de croissance, cependant il serait important d'évaluer les coûts d'un tel traitement car il n'est pas évident que les gains qu'ils procurent soient suffisants pour en justifier l'application. De plus, ce traitement n'est pas recommandé en présence de forte densité de chevreuils (Bouffard et al. 2007). Pour ce qui est du traitement de dégagement le plus intense, le TC, il ne semble pas réellement approprié du fait qu'il génère, certes des individus vigoureux, mais également des individus extrêmement sensibles au broutage dans les premières années et qui par la suite, tendent à allouer une plus grande part de leur croissance vers le développement latéral de leur cime. En ce qui concerne le traitement TS, si celui-ci semble un bon compromis pour légèrement améliorer la croissance et la vigueur du bouleau jaune sur les sites ayant une forte densité de chevreuils sans l'exposer à un broutage excessif (l'importance de l'orientation de la demi-lune dégagée est essentielle), ce traitement ne paraît pas amener d'avantages additionnels notables par rapport au NC après 6 ans. Finalement, le traitement NC a surpris du fait que la survie, la vigueur et la croissance des individus dans ces parcelles furent toutes très acceptables et finalement peu différentes de la plupart des parcelles dégagées. De plus, c'est dans ces parcelles NC que l'on retrouvait les individus avec la plus grande portion de tige libre de branche (laissant supposé une meilleure qualité future).

Sur de tels sites, si une recommandation devait actuellement être faite, elle serait de laisser faire la nature si l'on considère encore une fois, le coût des traitements, leur faible avantage à bonifier la croissance et la vigueur et leur possible impact sur la qualité de la tige. Cependant, sur un site moins favorable au bouleau jaune et/ou dans le cas où un traitement d'élagage pourrait être prévu, un traitement partiel de dégagement (tel que le PC) pourrait être recommandé. De plus, avec la mise en évidence de l'importance de la densité de tiges compétitrice et de l'effet négatif du « puit de lumière », ce traitement partiel devrait être modulable afin de respecter ces deux principes découlant de nos résultats :

- Premièrement, ne pas intervenir si la densité initiale de tiges compétitrices est faible (< à 4 000 tiges/ha soit une dizaine de tiges dans un rayon de 3 m), particulièrement si la régénération en bouleau jaune est avancée (environ 8 ans) et au moins co-dominante.
- Deuxièmement, intervenir avec un dégagement partiel qui n'est pas concentré autour de la tige cible, mais bien dans un rayon de 3 m et qui laissera une compétition attenante au bouleau jaune pour en éduquer la cime. Là encore, il est important de rappeler que la tige dégagée devrait être considérée au moins co-dominante au moment du dégagement.

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 des Ressources du Milieu Forestier (PMVRMF Volet-I) du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec (MRNFQ) sous le numéro de projet : PMV1-14-07-0504.

Références

- Beaudet, M., C. Messier, et A. Leduc. 2004. Understorey light profiles in temperate deciduous forests: Recovery process following selection cutting. *Journal of Ecology* 92:328-338.
- Bouffard, D., et 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, et 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, et 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, et 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.
- MRN 1999.
- Nolet, P., F. Doyon, et 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.
- Robitaille A., et J.-P. Saucier 1998. Paysages régionaux du Québec méridional, Les Publications du Québec. Québec, Qc, Canada, 213 p.
- Sprugel, D. G., T. M. Hinckley, and W. Schaap. 1991. The theory and practice of branch autonomy. *Annual Review of Ecology and Systematics* 22:309-334.
- Woods, K. D. 2000. Long-term change and spatial pattern in a late-successional hemlock-northern hardwood forest. *Journal of Ecology* 88:267-282.

Annexes

Annexe 1 : Résumé des résultats du GLM ANOVA pour les caractéristiques de la compétition évaluées 3 m autour des gaules de bouleau jaune suivies.

% BOJ					
Term	Df	S of S	M S	F	p
A: TRAIT	3	854.460491	284.820164	0.72	0.5479
S	24	9448.51785	393.688244		
% CEP					
Term	Df	S of S	M S	F	p
A: TRAIT	3	833.101348	277.700449	0.81	0.5023
S	24	8257.8389	344.076621		
% ERX (érables spp.)					
Term	Df	S of S	M S	F	p
A: TRAIT	3	901.912205	300.637402	0.92	0.4451
S	24	7825.01869	326.042445		
% AUTre essences					
Term	Df	S of S	M S	F	p
A: TRAIT	3	1161.00278	387.000927	1.21	0.3287
S	24	7699.09692	320.795705		
Hauteur Moyenne de la Compétition					
Term	Df	S of S	M S	F	p
A: TRAIT	3	0.48732143	0.16244048	0.80	0.5200
S	24	5.07946429	0.21164435		
Densité Moyenne de la Compétition					
Term	Df	S of S	M S	F	p
A: TRAIT	3	330871341	110290447	14.2	<0.0001*
S	24	185827520	7742813.34		

Annexe 2 : Résumé des résultats du GLM ANOVA pour les caractéristiques du statut de dominance des gaules de bouleau jaune suivies.

% Dominant					
Term	Df	S of S	M S	F	p
TRAIT	3	3565.3816	11.884605	3.92	0.0206*
S	24	7273.1557	303.0482		

% Co-dominant					
Term	Df	S of S	M S	F	p
TRAIT	3	3525.4306	1175.1435	4.68	0.0103*
S	24	6022.7518	250.9479		

% Intermédiaire					
Term	Df	S of S	M S	F	p
TRAIT	3	349.3123	116.4375	0.73	0.5427
S	24	3814.3201	158.93		

% Supprimé					
Term	Df	S of S	M S	F	p
A: TRAIT	3	941.087932	313.695977	1.45	0.2529
S	24	5189.37997	216.2		

Annexe 3 : 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
A: TRAIT	3	26207.6338	8735.87793	2.85	0.0588
S	24	73636.7499	3068.19791		

DHP					
Term	Df	S of S	M S	F	p
A: TRAIT	3	674.086254	224.695418	4.28	0.0148*
S	24	1258.59014	52.4412559		

Annexe 4 : 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
A: TRAIT	3	0.80672158	0.26890719	9.66	0.000229*
S	24	0.66776171	2.78E-02		

Cime H/D					
Term	Df	S of S	M S	F	p
A: TRAIT	3	0.28580856	9.53E-02	1.63	0.2093
S	24	1.40511943	0.1		

%Cime vivante					
Term	Df	S of S	M S	F	p
A: TRAIT	3	231.390957	77.1303191	3.89	0.021337*
S	24	476.021904	19.834246		

SPAD					
Term	Df	S of S	M S	F	p
A: TRAIT	3	10.2736203	3.42454009	0.44	0.7239
S	24	185.191009	7.72E+00		