



Effets de la surface terrière résiduelle sur le rendement et la composition des peuplements jardinés en Estrie

Rapport Final

Présenté à

Billot Sélect Mégantic inc.

et au

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune

Préparé par



**INSTITUT QUÉBÉCOIS D'AMÉNAGEMENT
DE LA FORÊT FEUILLUE**

Avril 2010

Équipe de réalisation de l'IQAFF*

Coordonnateurs scientifiques et de rédaction :

Philippe Nolet, M.Sc.
Sylvain Delagrange, Ph.D.
Vincent McCullough, Ing. f., M.Sc.

Équipe technique :

Julie Poirier
Kim Bannon
Serge Raposo
Régis Pouliot
Pascal Rochon
Mario Charrette

*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 :

Nolet, P., Delagrange, S., McCullough, V. 2010. Effets de la surface terrière résiduelle sur le rendement et la composition des peuplements jardinés en Estrie. Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue, Ripon, Québec. Rapport Final. 30 p + Annexe.

Remerciements

Nous voulons remercier tout particulièrement Julie Poirier et Kim Bannon pour les analyses des cernes de croissance. Nous tenons à remercier Serge Raposo, Régis Pouliot, Pascal Rochon et Mario Charrette pour tous les efforts investis lors des inventaires terrains.

Nos remerciements s'adressent aussi à Dany Senay de la CRRNT Estrie qui nous a aidés dans l'évaluation de la problématique ainsi qu'à Sylvain Gagnon du MRNF qui nous a apporté son aide dans l'acquisition des données.

Ce projet a été financé par le Programme de Mise en Valeur des Ressources du Milieu Forestier, Volet I (Acquisition de connaissances/recherche) du Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune du Québec.

Résumé

En Estrie, la coupe de jardinage fait l'objet d'une norme différente du reste de la province quant à la surface terrière résiduelle après traitement, celle-ci ne pouvant être abaissée en dessous de 20 m²/ha. Tant à l'égard de la productivité que de la diversité en essences, la coupe de jardinage soulève déjà des questions. Cette spécificité apporte une incertitude supplémentaire quant aux effets à long terme du jardinage. Ce projet vise donc dans une meilleure compréhension des effets de l'imposition d'une surface terrière minimale après coupe de jardinage sur la productivité et la composition en essences dans les érablières à bouleau jaune. Trois (3) peuplements avec une appellation ERBj sur till épais (1A) ayant été jardinés en 2000 (1 peuplement) et 2001 (2 peuplements) ont été sélectionnés. Un total de 42 placettes à rayon fixe de 11,28 m (Inventaire no 2) ont été inventoriées dans lesquelles tous les arbres (> 9,1 cm au DHP) dans chacune des placettes 11.28 m ont été recensés (essence et DHP) et ont fait l'objet d'un carottage à l'aide d'une sonde de Pressler à la hauteur du DHP afin de caractériser leur croissance dans les 15 dernières années. Les parcelles dans lesquelles la présence du bouleau jaune dans la strate gaules avait été retrouvée ont été revisitées et un maximum de 3 gaules par parcelles ont été coupées afin de récolter une galette à la base de l'individu (i.e., le collet). Nous avons par la suite analysé la croissance et identifié le moment d'établissement des 79 gaules ainsi recensées. Nos résultats montrent que toutes les essences ont réagi positivement à la coupe de jardinage, mais que ce sont surtout les arbres de petits diamètres (moins de 30 cm de DHP) qui ont réagi. À l'échelle de la placette, nous avons observé que le rendement relatif est plus élevé après traitement qu'avant traitement, mais cette augmentation est davantage liée à la structure des peuplements qu'à la surface terrière résiduelle. La réponse des gaules de bouleau jaune à la coupe de jardinage est hautement fonction de leur moment d'installation. Ce sont les gaules installées juste avant le traitement qui sont les plus influencées par l'ouverture du couvert. Nous concluons 1) que le fait de maintenir une surface terrière élevée (autour de 20 m²/ha) n'a pas nui à la productivité des forêts de la région sans toutefois pouvoir confirmer que ce constat restera valable pour les années à venir et 2) sans que la coupe de jardinage (peu importe la surface terrière résiduelle) ne nuise à l'établissement des nouvelles cohortes de semis de bouleau jaune, elle ne semble pas à elle seule permettre de maximiser les chances de survie et de bonne croissance des individus préétablis. Finalement, nous discutons des implications sylvicoles de ces conclusions.

Table des matières

<i>Équipe de réalisation de l'IQAFF*</i>	<i>ii</i>
<i>Remerciements</i>	<i>iii</i>
<i>Résumé</i>	<i>iv</i>
<i>Liste des figures et tableau</i>	<i>vi</i>
1 Introduction	1
1.1 Problématique	1
1.2 Objectifs	2
2 Méthodologie	3
2.1 Territoire à l'étude	3
2.2 Sélection des peuplements	4
2.3 Inventaires	5
2.4 Mesures en laboratoire	7
2.5 Analyses des données	7
3 Résultats et discussion	9
3.1 Réaction des tiges marchandes	9
3.2 Réaction à l'échelle du peuplement	12
3.3 Réaction de la régénération	15
3.3.1 Le stocking des gaules et semis	15
3.3.2 L'installation du bouleau jaune	18
3.3.3 La croissance des gaules de BOJ	19
4 Discussion générale et implications pour l'aménagement	26
<i>Références</i>	<i>29</i>
<i>Annexe 1</i>	<i>31</i>

Liste des figures et tableau

Figure 1 : Localisation du territoire à l'étude.	3
Figure 2: Histogramme de fréquence des surfaces terrières échantillonnées dans les parcelles au prisme (avant et après traitement).	6
Figure 3: Évolution de la croissance radiale des essences principales avant et après coupe de jardinage. L'année référencée indique que l'an 0 est l'année du traitement.	10
Figure 4: Évolution de la croissance radiale des essences principales avant et après coupe de jardinage en fonction des classes de diamètre. L'année référencée indique que l'an 0 est l'année du traitement.	10
Figure 5: Croissance radiale moyenne de l'érable à sucre avant et après jardinage par classe de diamètre. La première lettre au-dessus des barres réfère à une comparaison entre avant et après CJ pour une même classe de DHP. Des lettres différentes indiquent une différence statistiquement significative au seuil de 0,05 (test t apparié). La seconde lettre ou série de lettres réfère à une comparaison entre les classes de DHP pour une même période (avant ou après CJ). La présence d'au moins une lettre commune entre deux catégories signifie qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative au seuil de 0,05 (ANOVA).	11
Figure 6: Effet de la surface terrière prélevée sur la croissance radiale des principales essences après coupe de jardinage.	12
Figure 7: Évolution de la proportion de chacune des essences principales depuis le traitement.	13
Figure 8: Rendement relatif annuel moyen en surface terrière des tiges résiduelles des parcelles échantillonnées.	14
Figure 9: Rendement relatif annuel moyen en fonction de la surface terrière résiduelle et de l'importance des petites tiges par rapport aux grosses tiges. Référez à la méthodologie pour une explication du rendement relatif. ST signifie surface terrière.	14
Figure 10: Accroissement annuel brut après traitement en fonction de la surface terrière résiduelle.	15
Figure 11: Proportion de placettes stockées en gaules d'érable à sucre (ERS), de bouleau jaune (BOJ) et de hêtre à grande feuille (HEG) en fonction de classes de surface terrière après traitement (2008).	16
Figure 12: Proportion de placettes stockées en gaules et en semis de bouleau jaune en fonction de classes de surface terrière après traitement (2008).	18
Figure 13: Nombre d'individus de bouleau jaune présents dans la strate gaulis en 2008 en fonction de leur année d'établissement relativement à l'année de coupe.	19
Figure 14: Croissance radiale annuelle moyenne des gaules de bouleau jaune en fonction de leur période d'établissement et de l'année relative à la réalisation de la coupe.	20

Figure 15: Croissance radiale annuelle moyenne des gaules de bouleau jaune sur la période de 7 ans suivant l'application du jardinage en fonction de la surface terrière après traitement (2008).....	21
Figure 16: Régression linéaire entre la croissance radiale annuelle moyenne et un modèle multiple combinant la surface terrière après coupe et la surface terrière prélevée pour le groupe de gaules de bouleau jaune nouvellement établi.	22
Figure 17: Régression linéaire entre la variabilité non expliquée par la croissance radiale annuelle moyenne avant traitement et un modèle de régression multiple. Ce modèle combine la surface terrière après coupe et la surface terrière prélevée pour le groupe de gaules de bouleau jaune établies récemment (1 à 6 ans) avant la coupe.....	23
Figure 18: Régression linéaire entre la croissance radiale annuelle moyenne après traitement et la croissance radiale annuelle moyenne avant traitement pour le groupe de gaules de bouleau jaune établies longtemps (au moins 7 ans) avant la coupe.	24
Tableau 1: Résultats des régressions linéaires multiples réalisées par groupe d'établissement afin de déterminer quelles variables indépendantes sont impliquées dans l'explication de la variabilité de la croissance radiale annuelle moyenne des gaules de bouleau jaune.	25

1 Introduction

1.1 Problématique

La coupe de jardinage est le traitement sylvicole le plus couramment utilisé en Estrie et on y a eu recours pour traiter plus de 500 000 ha de forêt feuillue depuis une quinzaine d'années au Québec. En Estrie, la coupe de jardinage fait l'objet d'une norme différente comparativement au reste de la province. En effet, la surface terrière résiduelle après coupe de jardinage ne peut être abaissée en dessous de 20 m²/ha. Cette spécificité apporte une incertitude supplémentaire quant aux effets à long terme, encore mal connus, du jardinage sur la productivité et la diversité en essences.

En ce qui a trait à la productivité, il a été observé qu'elle pouvait être très variable au sein du réseau québécois des forêts d'expérimentation du jardinage (Bédard *et al.* 2004). Par exemple, il a été évalué que l'accroissement annuel brut pouvait varier de 0,32 à 0,58 m²/ha/an (Bédard *et al.* 2004) dans ce réseau, ce qui signifie presque une variation du simple au double. Certaines études laissent croire qu'une portion significative de cette variabilité pourrait s'expliquer par la surface terrière résiduelle après traitement (e.g. Solomon 1977, Erdmann and Oberg 1973; Niese et Strong (1992). Récemment, Forget *et al.* (2007) ont effectivement démontré, en se basant à la fois sur des données empiriques et sur une revue de littérature, que la surface terrière résiduelle après traitement a un impact important sur la productivité.

En ce qui concerne la diversité en essences, plusieurs ont avancé l'idée que la coupe de jardinage pouvait mener à une baisse de diversité en essences forestières (Niese and Strong 1992; Nolet et Rojas 1998). Cet effet pervers anticipé de la coupe de jardinage par pied d'arbre a d'ailleurs mené à l'implantation de nouvelles modalités de coupe de jardinage au sein du Manuel d'aménagement forestier en 1998 (MRNQ, 1998; Lessard *et al.* 1999), dont la coupe de jardinage par trouées. D'ailleurs, la coupe de jardinage par trouées s'est révélée extrêmement efficace en Outaouais pour favoriser la régénération du pin blanc (une essence peu tolérante à l'ombre) qui était autrement décevante dans les parterres jardinés par pied d'arbre (Raymond *et al.* 2003).

1.2 Objectifs

Ainsi, tant à l'égard de la productivité que de la diversité en essences, la coupe de jardinage soulève des questions. Ce projet vise ainsi une meilleure compréhension des effets de l'imposition d'une surface terrière minimale après coupe de jardinage sur la productivité et la composition en essences dans les érablières à bouleau jaune. Plus spécifiquement, les objectifs de ce projet sont:

- 1) Évaluer le rendement (accroissement annuel brut) en fonction de la surface terrière résiduelle;
- 2) Estimer l'impact à court terme de ce type de jardinage sur la diversité potentielle en espèces.
- 3) Évaluer les patrons d'établissement et de croissance des gaules de bouleau jaune en fonction de la surface terrière résiduelle.

2 Méthodologie

2.1 Territoire à l'étude

Le territoire à l'étude se situe à environ 30 kilomètres au sud-est de Lac-Mégantic dans la zone d'exploitation contrôlée (ZEC) Louise-Gosford (figure 1), secteur Louise. Cette région fait partie de l'unité de paysage régional du Mont Mégantic, caractérisée par un relief accidenté avec des versants à pente généralement modérée et parfois escarpée (Robitaille et Saucier 1998). L'unité Mont Mégantic est comprise dans une sous-région septentrionale du domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune.

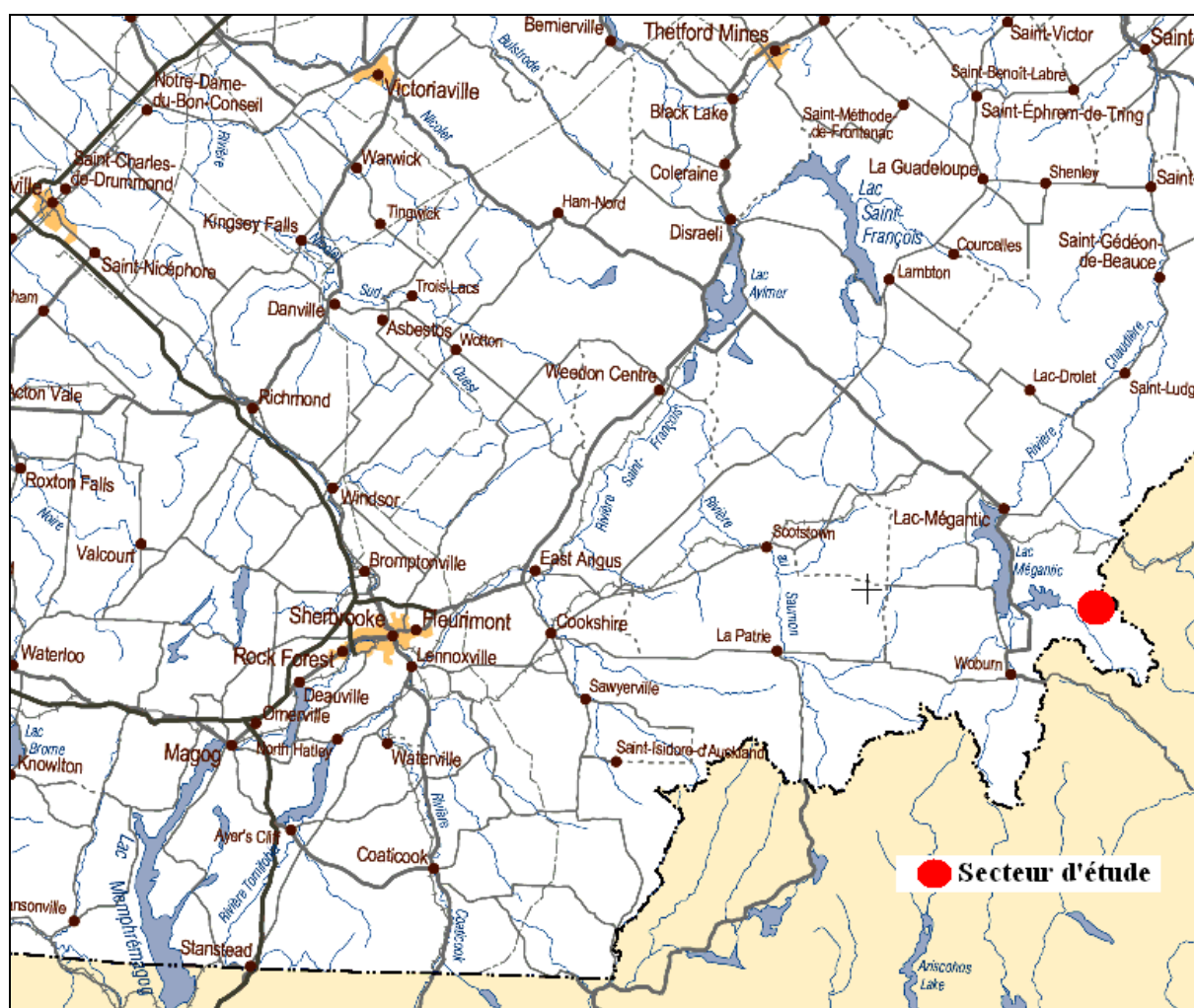


Figure 1 : Localisation du territoire à l'étude.

2.2 Sélection des peuplements

Nous avons dans un premier temps identifié, à partir des cartes écoforestières, des peuplements propices au projet. La sélection des peuplements a été faite en fonction de quatre critères.

1. Le peuplement devait être une érablière à bouleau jaune afin de pouvoir étudier la dynamique entre les deux essences ;
2. Les peuplements devaient être traités en coupe de jardinage ;
3. La coupe devait avoir eu lieu au moins 5 ans auparavant par rapport à l'année de référence 2008. Ce laps de temps permet de bien évaluer la réponse du peuplement au traitement ;
4. Et enfin, les peuplements devaient avoir un dépôt de surface similaire.

Ces critères nous ont mené à la sélection de 3 peuplements avec une appellation ERBj sur till épais (1A et 1AY) ayant été jardinés en 2000 (1 peuplement) et 2001 (2 peuplements).

2.3 Inventaires

Un total de 4 inventaires a été réalisé dans le cadre du projet.

Le premier inventaire (no 1a) consistait à évaluer l'hétérogénéité spatiale de la surface terrière dans les 3 peuplements. Un total de 121 placettes au prisme (facteur 2), réparties dans les 3 peuplements, a été inventorié pour établir un histogramme de fréquence de classes de surfaces terrières pour l'ensemble des peuplements¹. Lors de cet inventaire, les souches ont aussi été comptabilisées afin d'avoir un estimé de la surface terrière avant coupe. À partir du diamètre à la hauteur de souche (DHS), un facteur de correction était appliqué à la valeur afin d'évaluer le DHP de la tige prélevée au moment de la coupe de façon à déterminer si la tige faisait partie du rayon variable de la placette. Cet inventaire nous permettait ainsi d'obtenir une estimation de la variabilité spatiale de la surface terrière avant et après traitement. Les différences de surface terrière avant et après traitement constituent une évaluation de l'ouverture du couvert suite à la coupe de jardinage.

Au cours de ce premier inventaire, un inventaire de la régénération (semis et gaulis) a aussi été réalisé (no 1b). Il a consisté en la détermination de la présence ou l'absence d'essences importantes à l'intérieur d'un rayon de 10 m (314 m²) autour du point central de la parcelle. Pour la strate de gaule, la présence/absence de l'érable à sucre (ERS), du bouleau jaune (BOJ) et du hêtre à grande feuille (HEG) a été répertoriée alors que pour la strate de semis, seule la présence/absence du bouleau jaune a été notée. Cet inventaire visait d'une part à évaluer le succès de régénération (en termes de présence) sur l'ensemble du territoire inventorié (n=121 parcelles) ainsi qu'en fonction de la surface terrière après traitement. Dans un deuxième temps, la base de données obtenue allait servir au choix des parcelles de l'inventaire no 3.

Selon l'histogramme de fréquence des surfaces terrières pour l'ensemble des peuplements (Figure 2), 42 placettes au prisme réalisées lors de l'inventaire no 1 ont été sélectionnées en respectant l'étendue des surfaces terrières observées dans le peuplement. Nous avons par la suite mis en place un même nombre de placettes à rayon fixe de 11,28 m (Inventaire no 2) en

¹ L'annexe 1 présente le plan de sondage relié à cet inventaire.

utilisant les mêmes centres des parcelles que pour l'inventaire no 1. Tous les arbres (> 9,1 cm au DHP) dans chacune des placettes 11.28 m ont été recensés (Essence et DHP) et ont fait l'objet d'un carottage à l'aide d'une sonde de Pressler à la hauteur du DHP afin de caractériser leur croissance dans les 15 dernières années. En tout, 867 arbres provenant des 42 placettes ont été carottés.

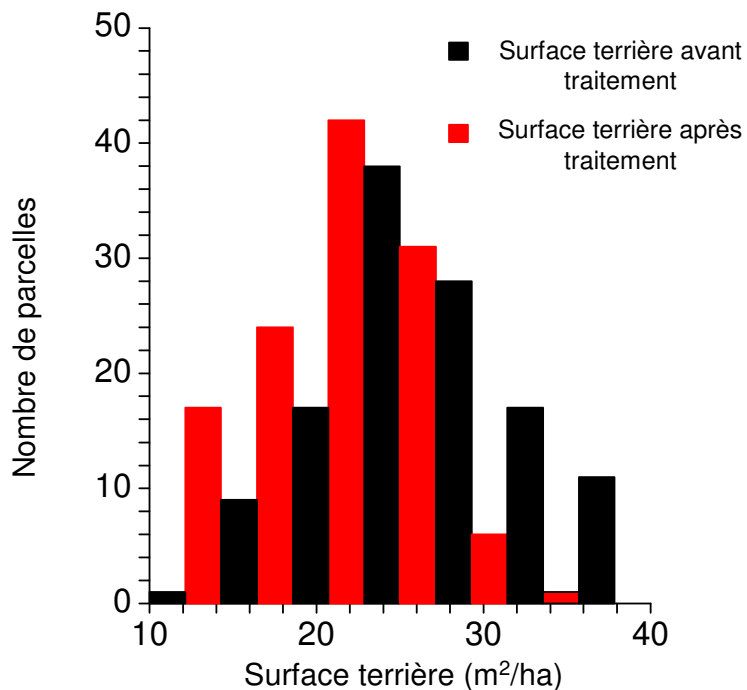


Figure 2: Histogramme de fréquence des surfaces terrières échantillonnées dans les parcelles au prisme (avant et après traitement).

Suite à l'inventaire 1b, les parcelles dans lesquelles la présence du BOJ dans la strate gaulis avait été retrouvée ont été revisitées et un maximum de 3 gaules par parcelles ont été coupées afin de récolter une galette à la base de l'individu (i.e., au collet). La sélection des gaules a été faite selon les critères suivants :

1. La gaule devait avoir un diamètre à hauteur de poitrine (DHP) compris entre 1 et 9 cm.
2. La gaule devait se trouver à l'intérieur d'un rayon de 11.28m à partir du centre de la parcelle.

Le nombre total de galettes récoltées s'est élevé à 79 et au moment de la récolte, la longueur de la tige ainsi que la hauteur de cime vivante ont été notées.

2.4 Mesures en laboratoire

Les carottes et les disques prélevés lors des inventaires 2 et 3 ont d'abord été séchés à l'air libre pendant un minimum de 2 semaines. Ensuite, les carottes ont été collées à des languettes de bois avant d'être sablées, en deux étapes, avec du papier abrasif aux dimensions suivantes: 320 grains/po² et 600 grains/po². Les disques de gaules récoltées ont aussi été sablés en trois étapes avec du papier abrasif aux dimensions suivantes : 320 grains/po², 600 grains/po² et 1000 grains/po². À l'aide d'un stéréo-microscope Leica MZ125 (40 x), couplé à une table de numérisation électronique Velmex d'une précision de 10 microns, la largeur des cernes annuels a été mesurée de l'année 2008 à l'année 1994 dans le cas des carottes (867 lectures) et de 2009 jusqu'au cœur dans le cas des galettes. Pour les galettes, la lecture a été faite sur deux rayons correspondant à la bissectrice du diamètre le plus large et de sa perpendiculaire (n = 158 lectures) et la lecture jusqu'au cœur a permis de déterminer l'âge des individus.

2.5 Analyses des données

Les données récoltées durant l'inventaire n°1b ont permis de calculer la proportion de parcelles dans lesquelles l'érable à sucre (ERS), le bouleau jaune (BOJ) et le hêtre à grande feuille (HEG) étaient présents au stade gaulis. De même, la proportion de placettes stockées en semis de bouleau jaune (BOJ) a été calculée.

À partir de l'inventaire n°2, la mesure du diamètre de chaque arbre a été calculée rétroactivement de 2008 à 1994. Cela nous permet d'évaluer, tant à l'échelle de l'arbre que de la placette, l'évolution de la croissance. Afin de comparer la productivité à l'échelle de la parcelle avant et après traitement, nous avons utilisé les mêmes tiges avant et après traitement, c'est-à-dire celles qui n'ont pas été prélevées. Ainsi, pour chaque parcelle, nous avons calculé le rendement relatif annuel moyen avant et après traitement selon les équations suivantes :

$$\text{Rendement relatif}_{Pav} = ((St_{an0} - St_{an-6}) / St_{an-6}) / 7 \text{ et}$$

$$\text{Rendement relatif}_{Pap} = ((St_{an7} - St_{an0}) / St_{an0}) / 8 \text{ où}$$

- Rendement relatif_{Pav} est le rendement relatif pour la période avant traitement ;
- Rendement relatif_{Pap} est le rendement relatif pour la période après traitement ;
- St_{an0} est la surface terrière du peuplement (sans les tiges abattues) au moment du traitement ;

- St_{an-6} est la surface terrière du peuplement 6 ans (sans les tiges abattues) avant le traitement ;
- St_{an7} est la surface terrière du peuplement 7 ans après le traitement.

Les données de croissance à l'échelle de la placette comme à l'échelle de l'individu ont par la suite été mises en relation avec les valeurs de surface terrière prélevée, résiduelle ou relative (pourcentage de la surface terrière prélevée) évaluée lors de l'inventaire n°1.

À partir de l'inventaire n°3, la croissance radiale annuelle a été calculée pour chacun des 79 individus tout au long de leur existence. Afin de pouvoir comparer les individus provenant des 3 sites, chaque année de croissance a été relativisée par rapport à l'année de la coupe (devenue l'année 0). Ensuite, la croissance radiale annuelle moyenne après traitement a été obtenue en moyennant, pour chaque individu, la croissance radiale annuelle des 7 années suivant la coupe. De même, pour les individus s'avérant être établis avant la coupe, la croissance radiale annuelle moyenne avant coupe a été calculée en moyennant les 7 années de croissance antérieures à la coupe. Lors de la réalisation des modèles de régression linéaire multiple, la surface terrière résiduelle et la surface terrière prélevée ont été incorporées dans l'analyse pour les individus nouvellement établis. Dans le cas des individus préétablis, une troisième variable explicative, la croissance radiale annuelle moyenne avant traitement, a également été ajoutée dans le modèle. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel NCSS (Hintze 2004).

3 Résultats et discussion

3.1 Réaction des tiges marchandes

Il apparaît, au premier regard, que les essences les plus abondantes dans les peuplements étudiés ont toutes répondu positivement en termes de croissance à la coupe de jardinage (Figure 3). Certaines essences, comme le hêtre à grandes feuilles (HEG) et le sapin baumier (SAB), semblent réagir plus rapidement que d'autres (bouleau jaune, épinette noire). Toutefois, quand on décortique la réponse de ces mêmes essences en fonction du DHP (Figure 4), on voit que la réponse à la coupe de jardinage est hautement dépendante de la taille des individus. Pour la plupart des essences, on observe que les tiges de moins de 20 cm de DHP sont celles qui réagissent le mieux. Au-delà de cette taille, la réponse est de moins en moins perceptible sauf pour le HEG et SAB dans la classe de DHP 20-30.

Quant à l'érable à sucre (ERS), pour lequel il est possible de faire des analyses statistiques plus poussées en raison du nombre d'individus étudiés, aucun effet du traitement n'est observé pour les tiges de 40 cm et plus (test t apparié). Pour les classes de DHP plus petites, on observe des effets statistiquement significatifs suite à la coupe de jardinage (Figure 5). Que ce soit avant ou après traitement, la classe de DHP 30-40 est celle pour laquelle on observe la meilleure croissance radiale. Cette croissance est, dans les deux cas, meilleure que celle des tiges plus petites et, de façon surprenante, meilleure que celle de la classe 40 et plus. Ces différences de croissance entre les classes de DHP peuvent avoir des implications en termes sylvicoles dont nous reparlerons plus tard.

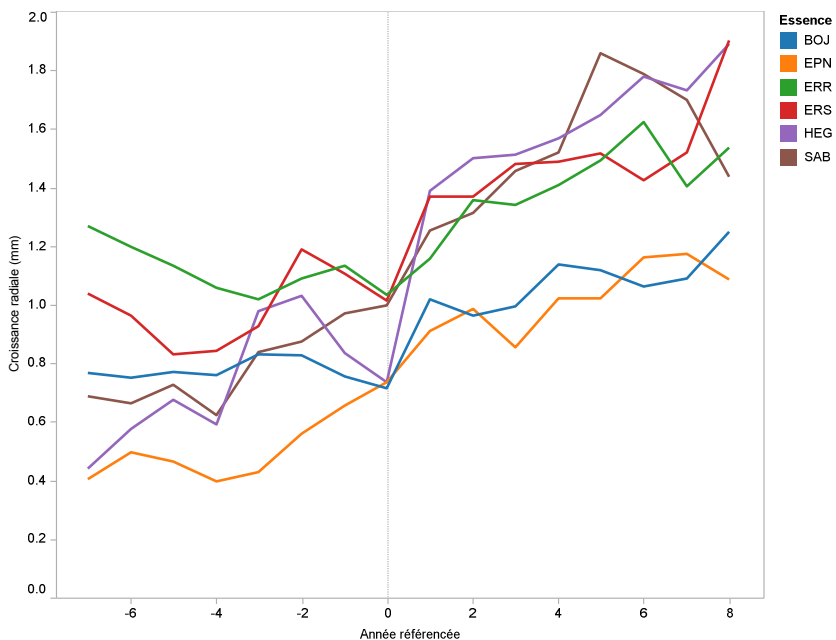


Figure 3: Évolution de la croissance radiale des essences principales avant et après coupe de jardinage. L'année référencée indique que l'an 0 est l'année du traitement.

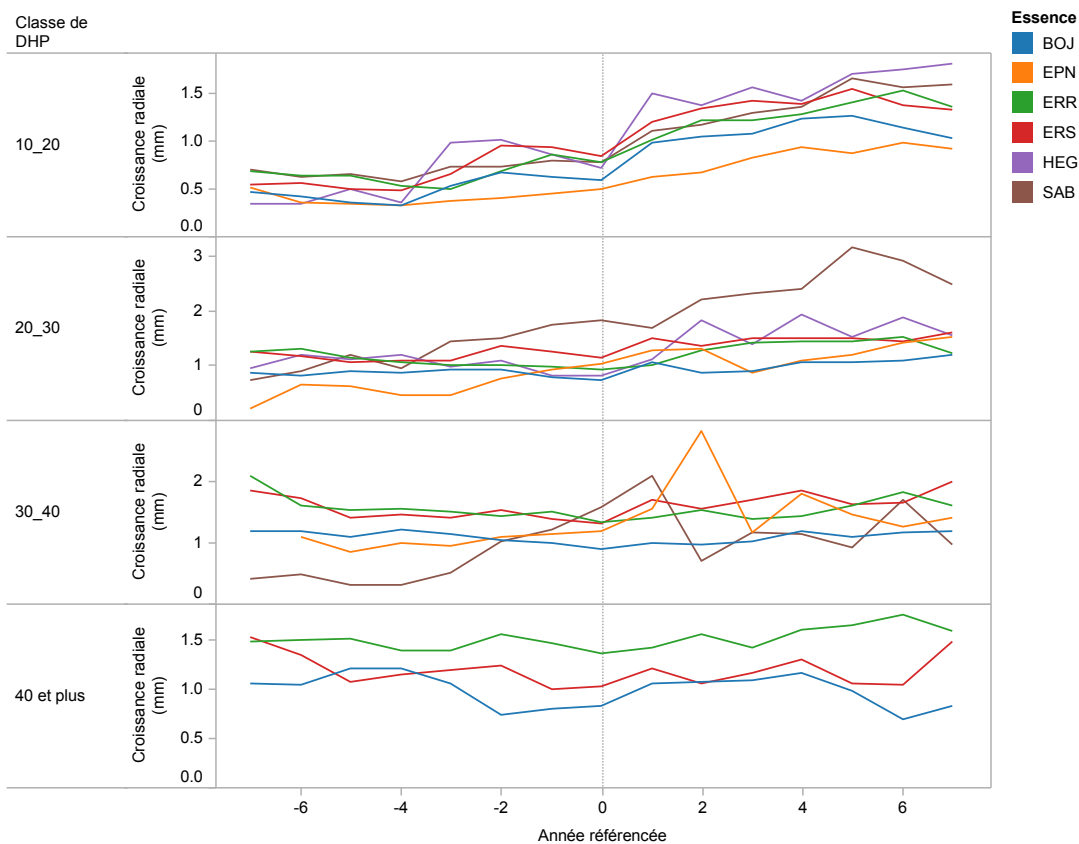


Figure 4: Évolution de la croissance radiale des essences principales avant et après coupe de jardinage en fonction des classes de diamètre. L'année référencée indique que l'an 0 est l'année du traitement.

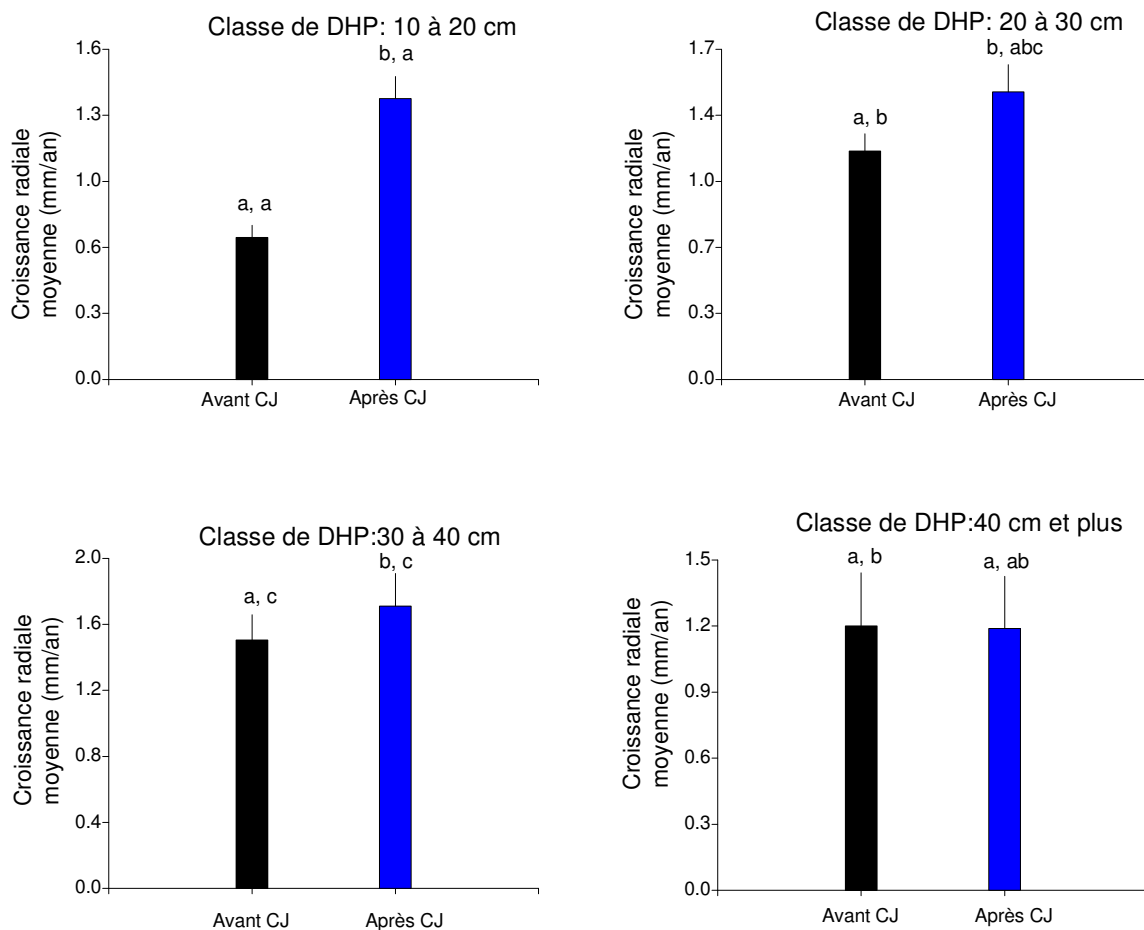


Figure 5: Croissance radiale moyenne de l'érable à sucre avant et après jardinage par classe de diamètre. La première lettre au-dessus des barres réfère à une comparaison entre avant et après CJ pour une même classe de DHP. Des lettres différentes indiquent une différence statistiquement significative au seuil de 0,05 (test t apparié). La seconde lettre ou série de lettres réfère à une comparaison entre les classes de DHP pour une même période (avant ou après CJ). La présence d'au moins une lettre commune entre deux catégories signifie qu'il n'y a pas de différence statistiquement significative au seuil de 0,05 (ANOVA).

Nous avons aussi vérifié si la réponse en croissance (croissance après jardinage – croissance avant jardinage) des principales essences après jardinage était liée à la surface terrière prélevée. Nous n'avons décelé aucune réponse statistiquement significative à part pour l'épinette noire (EPN), mais, pour une raison que l'on ne peut expliquer, dans le sens inverse auquel on se serait attendu. Il est important de remarquer toutefois que pour certaines essences, les classes de surface terrière prélevée ne sont pas toutes bien représentées. Même pour l'érable à sucre, l'essence la

plus abondante dans nos peuplements, nous n'observons aucune relation entre l'augmentation de croissance et la surface terrière prélevée. Cela s'explique probablement par le fait que la surface terrière prélevée n'est pas un indice suffisamment fin de l'augmentation de lumière que reçoivent les arbres après coupe de jardinage.

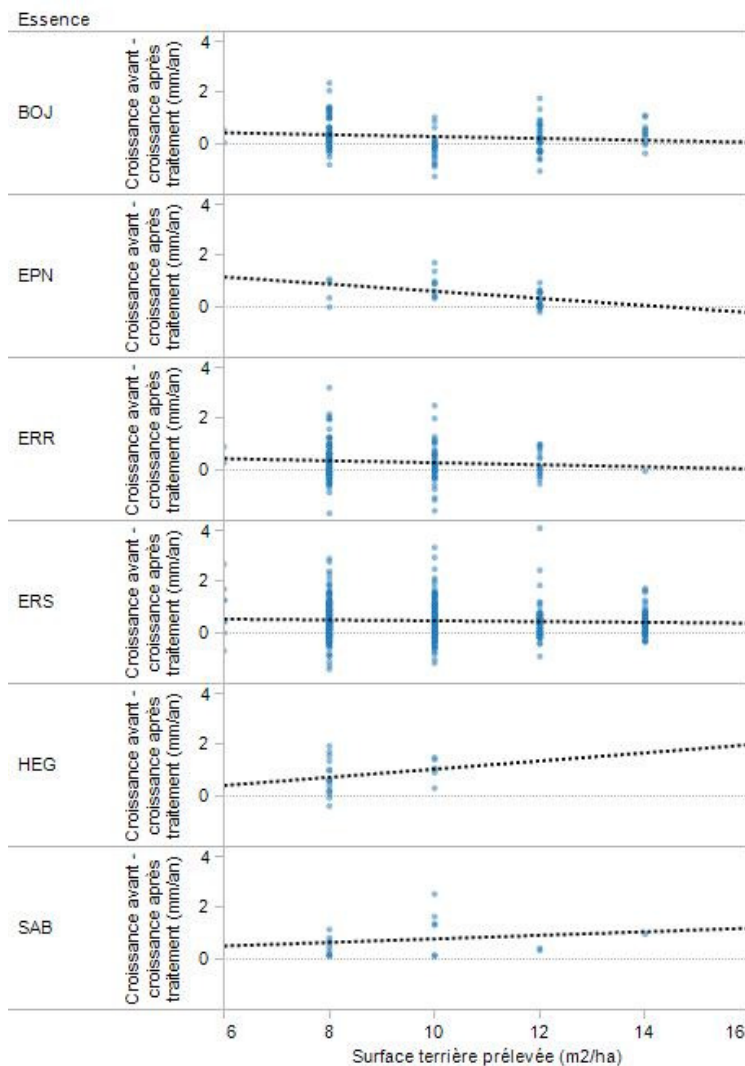


Figure 6: Effet de la surface terrière prélevée sur la croissance radiale des principales essences après coupe de jardinage.

3.2 Réaction à l'échelle du peuplement

Malgré les effets différents observés de la coupe de jardinage sur les différentes essences, l'importance relative de chacune de celles-ci a très peu évolué depuis la

coupe de jardinage (Figure 7). À cet égard, la coupe de jardinage ne semble pas jouer un rôle majeur à court et moyen terme sur la diversité en essences des peuplements étudiés. Cette constatation ne tient pas compte d'un effet possible – non étudié dans le cadre de cette étude – d'une sélection non équilibrée des essences lors de la récolte.

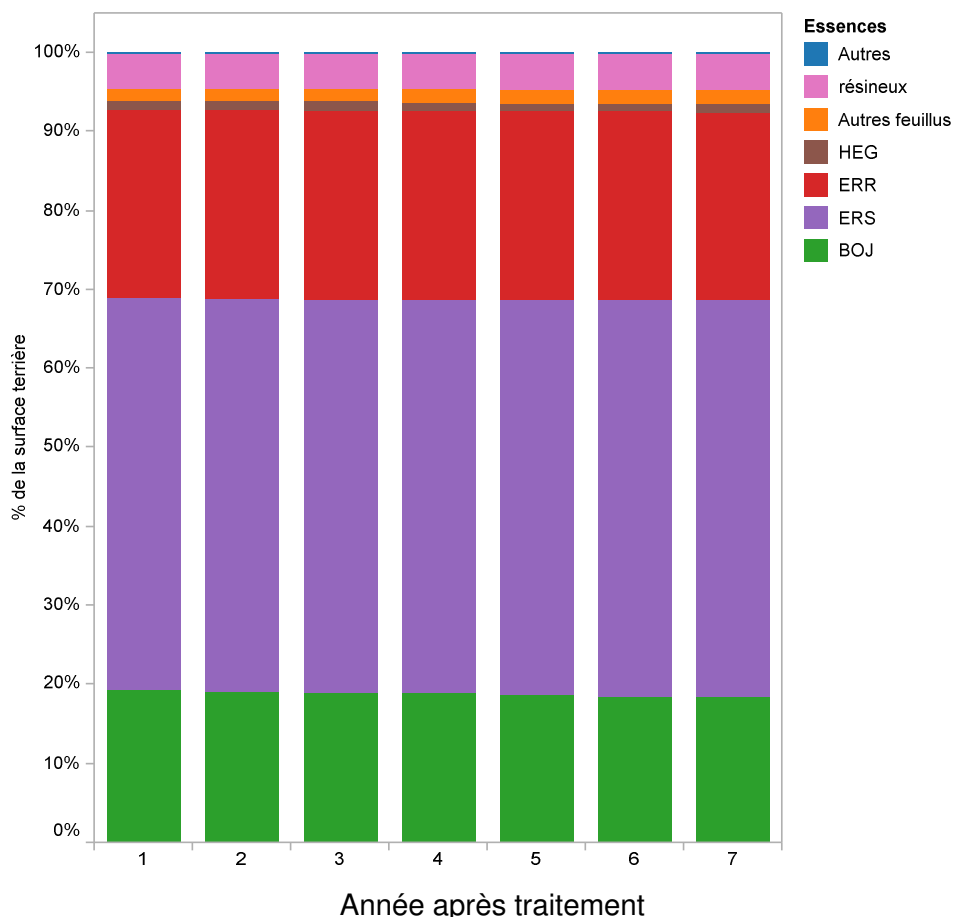


Figure 7: Évolution de la proportion de chacune des essences principales depuis le traitement.

Le rendement relatif (la surface terrière produite par rapport à la surface terrière initiale, (cf méthodologie) des tiges résiduelles des parcelles échantillonnées est plus grand après traitement (0,141) qu'avant traitement (0,108) avec une augmentation approximative de 30% (Figure 8). Cette différence est statistiquement significative ($p < 0,0001$; test t apparié) et est en lien avec la réponse des tiges marchandes observée à la section précédente.

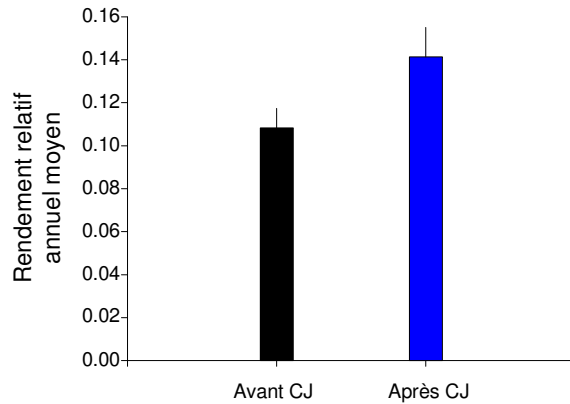


Figure 8: Rendement relatif annuel moyen en surface terrière des tiges résiduelles des parcelles échantillonnées.

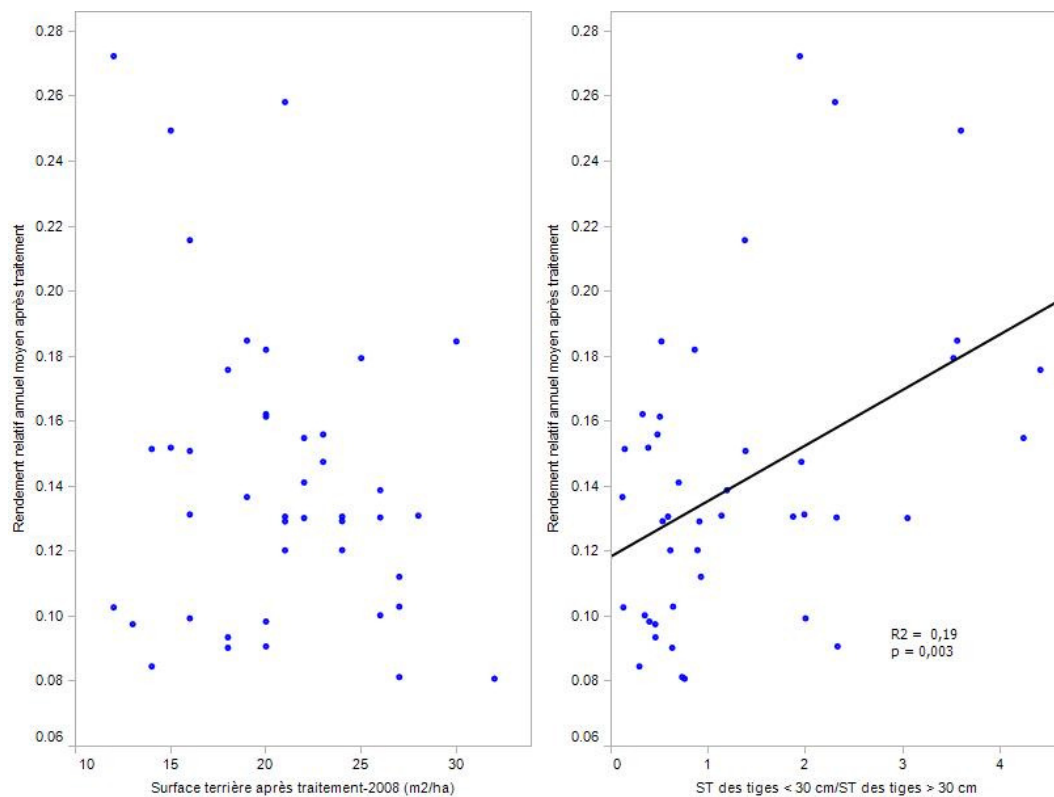


Figure 9: Rendement relatif annuel moyen en fonction de la surface terrière résiduelle et de l'importance des petites tiges par rapport aux grosses tiges. Référer à la méthodologie pour une explication du rendement relatif. ST signifie surface terrière.

Le rendement relatif n'est toutefois pas lié à la surface terrière résiduelle (Figure 9); cela n'est guère surprenant puisque nous n'avons pas vu d'effet de la surface terrière résiduelle sur la croissance des individus (Figure 6). Le rendement relatif est cependant

lié de façon statistiquement significative à la structure des peuplements tel qu'exprimé par le ratio surface terrière des tiges de moins de 30 cm / surface terrière des tiges de plus de 30 cm (Figure 9). Ce résultat est aussi en concordance avec les résultats obtenus à l'échelle de l'individu qui démontrait un effet important du diamètre sur la croissance radiale (Figure 5). On observe par ailleurs que l'accroissement annuel brut est lié positivement (Figure 10), mais faiblement à la surface terrière résiduelle. La faiblesse de cette relation n'est toutefois pas surprenante compte tenu que le rendement relatif n'est pas lié à la surface terrière résiduelle. Il aurait en effet fallu que le rendement relatif soit négativement et fortement lié à la surface terrière pour observer un effet négatif de la surface terrière sur l'accroissement brut comme cela a été observé dans de nombreuses études (e.g. Forget et al 2007).

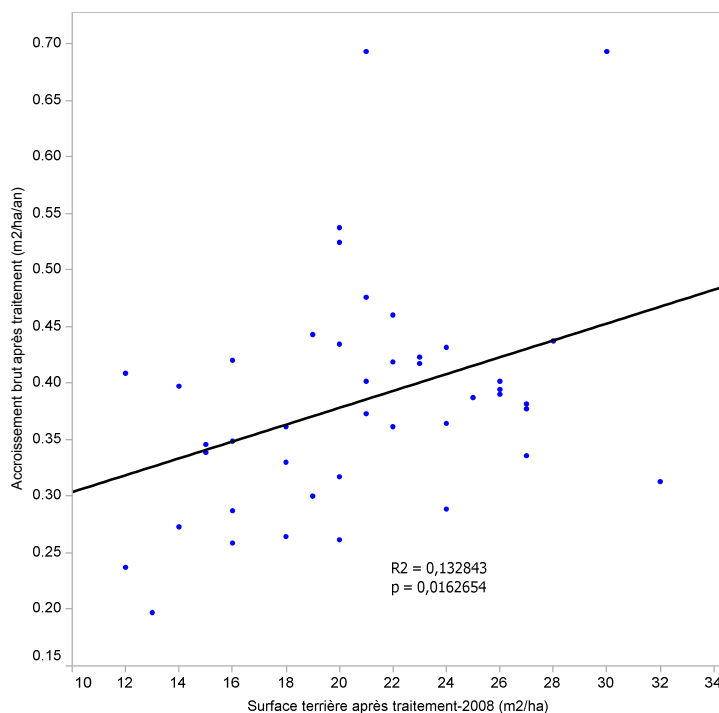


Figure 10: Accroissement annuel brut après traitement en fonction de la surface terrière résiduelle.

3.3 Réaction de la régénération

3.3.1 Le stocking des gaules et semis

En ce qui concerne la strate gaulis, il apparaît clairement que la surface terrière après traitement (en 2008) a eu un impact contrasté sur la proportion de placettes stockées

pour les trois principales essences surveillées (Figure 1). Ainsi, la proportion de placettes stockées en gaule d'ERS s'est révélée indépendante de la surface terrière après traitement et toujours très élevée (supérieure à 85%). Il ne semble donc pas y avoir de problème de recrutement pour l'ERS au sein du gradient de surface terrière présente après coupe, ce qui confirmerait le tempérament généraliste de la régénération de cette essence (Nolet *et al.* 2008). Cependant, ceci est aussi associable à la forte proportion de semenciers d'ERS dans ces peuplements qui fournissent une source de recrutement importante et spatialement homogène. Pour ce qui est du BOJ, le stocking de cette essence s'est avéré beaucoup plus faible (inférieur à 30%) et surtout complètement absent des deux classes extrêmes de surface terrière. Le stocking en gaules de BOJ s'est donc restreint à des surfaces terrières allant de 14 à 29 m² ha⁻¹ (Figure 11). L'absence de gaules de BOJ dans les parcelles ayant des surfaces terrières très faibles pourrait s'expliquer par la présence d'essences compétitrices telles que le BOP, l'ERR, l'ERP et même le framboisier lorsque le milieu est si ouvert. Pour ce qui est de l'absence des gaules de BOJ dans les parcelles avec de fortes surfaces terrières, celle-ci est probablement associée au manque de lumière sous des couverts aussi fermés.

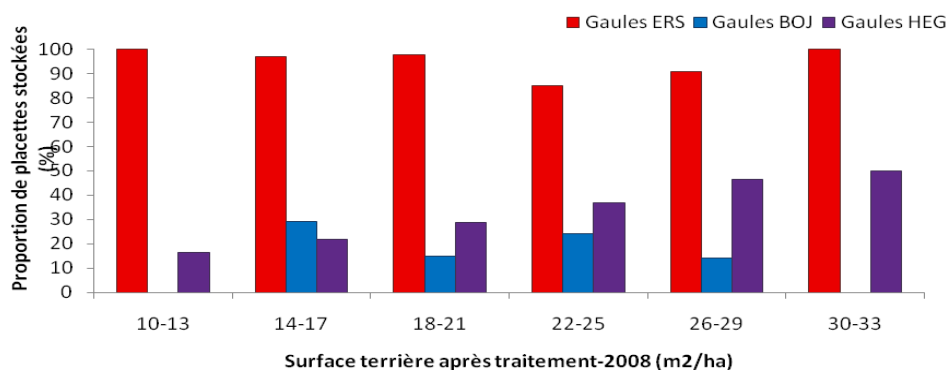


Figure 11: Proportion de placettes stockées en gaules d'érable à sucre (ERS), de bouleau jaune (BOJ) et de hêtre à grande feuille (HEG) en fonction de classes de surface terrière après traitement (2008).

Pour le HEG, on voit nettement (Figure 11) que la proportion de placettes stockées en gaules de HEG augmente graduellement avec l'augmentation de la fermeture du couvert (passant de 15 à 50%). Le succès de régénération de cette essence semble donc directement relié à la présence de classes de surface terrière élevée. On peut supposer que ceci serait relié au fait qu'avec l'augmentation de la surface terrière, l'HEG

connaîtrait une augmentation de sa compétitivité alors que les autres essences (p.ex. le BOJ et l'ERS) y connaîtraient une baisse.

De façon plus détaillée, le patron d'établissement du stock en gaules de BOJ ne semble pas suivre celui des semis de cette même essence. En effet, on remarque (Figure 12) que le stocking des semis de BOJ est bien plus généralisé (présence dans toutes les classes de surface terrière) et surtout, plus important (présence dans 90% des parcelles pour la majorité des classes de surface terrière) que celui des gaules. Il semble donc qu'il existerait une mortalité importante des semis de BOJ induisant une diminution des parcelles stockées en BOJ lors du passage du stade semis au stade gaulis. Il est connu que le BOJ peut s'établir en sous couvert, de façon assez indépendante de la lumière (Erdmann 1990) et notamment grâce à la présence de bois décomposé (McGee & Birmingham 1997). Cependant, sa survie juvénile a déjà été associée à la nécessité de conserver une disponibilité en lumière significative lors de son développement en taille (Messier & Nikinmaa 2000; Delagrange *et al.* 2004). En effet, une stabilisation ou une diminution de disponibilité en lumière alors que les coûts de développement en taille augmentent peut signifier la mort pour les semis (Givnish 1988). D'ailleurs, il a déjà été mentionné que l'environnement lumineux de la régénération de BOJ devait être fréquemment augmenté afin de garantir son succès (Beaudet *et al.* 2002).

De façon surprenante, la proportion de placettes stockées en gaules ne semble pas être plus importante et plus proche de celle des semis dans les classes de surface terrière faible. Pourtant, on aurait pu s'attendre à trouver plus couramment des conditions favorables (comme une disponibilité en lumière forte) lorsque la surface terrière est plus faible. Deux hypothèses peuvent donc être énoncées pour expliquer ce constat : i) le recrutement en BOJ dans la strate de gaules à partir de la strate de semis est faible et totalement indépendante de la surface terrière, ou ii) la mesure de surface terrière, comme telle, ne permet pas de capturer assez finement l'environnement lumineux véritable qui influence la survie du BOJ entre les strates semis et gaulis.

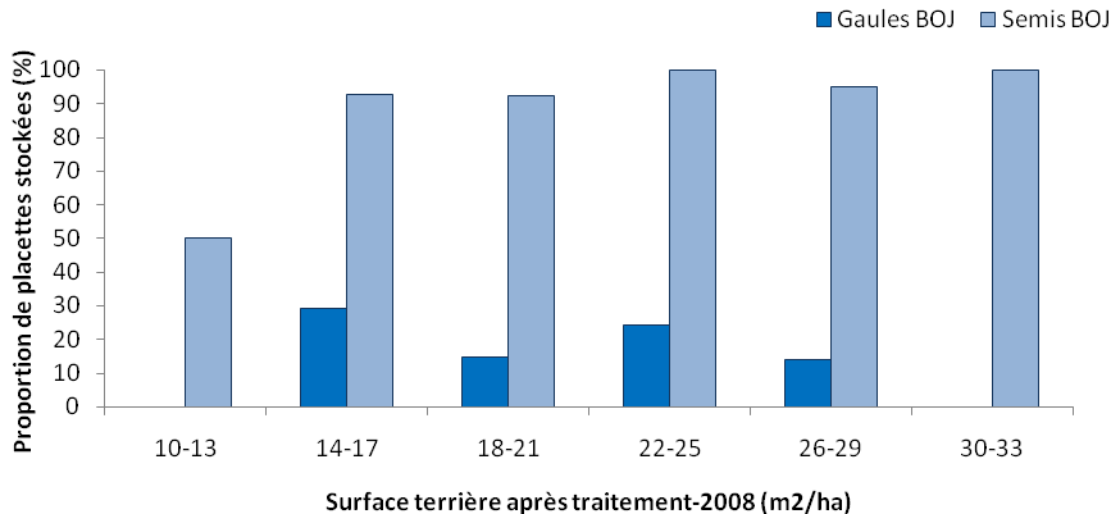


Figure 12: Proportion de placettes stockées en gaules et en semis de bouleau jaune en fonction de classes de surface terrière après traitement (2008).

3.3.2 L'installation du bouleau jaune

En ce qui a trait à l'année d'établissement des individus de BOJ présents dans la strate de gaules 8 ans après la coupe, il s'avère qu'une grande majorité des individus était déjà préétablie au moment de la coupe (Figure 13). En effet, 52% des individus se sont installés dans une période de 1 à 6 ans avant la coupe, 25% l'ont fait dans une période remontant à plus de 6 ans et seulement 23% se sont établis après la coupe de jardinage. Bien qu'un pré-établissement des semis de bouleau jaune avait déjà été rapporté (McClure *et al.* 2000), celui observé dans la Figure 3 démontre qu'une majorité (2/3) des individus de BOJ colonisant une perturbation partielle de la canopée était déjà présente sous forme de semis ou de gaulis dans la régénération. Il est important de noter qu'un bon nombre d'individus nouvellement établis ne sont pas comptabilisés ici, puisqu'ils n'ont pas encore atteint la strate de gaule (mais qu'ils pourraient éventuellement le faire dans les prochaines années). On notera aussi, que l'établissement ne semble pas continu mais plus par période (Figure 13).

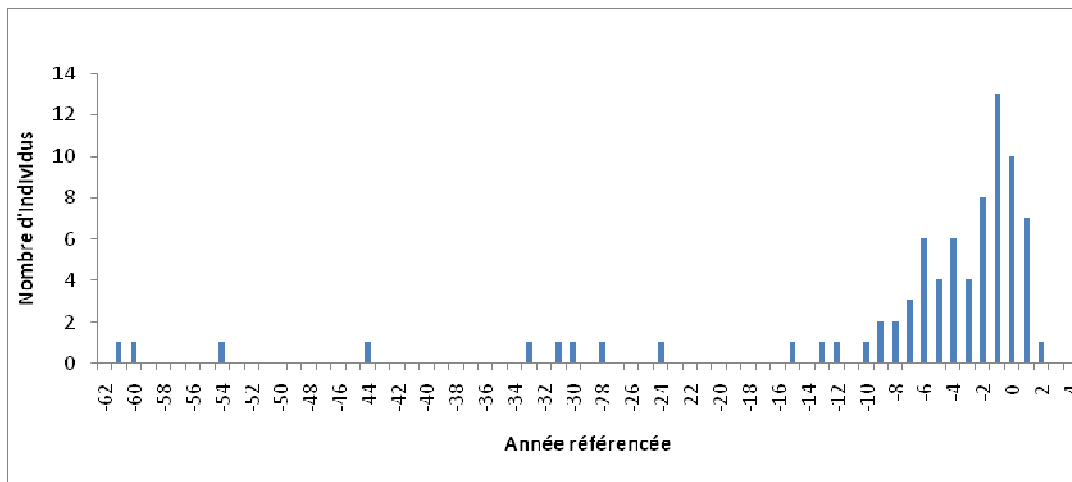


Figure 13: Nombre d'individus de bouleau jaune présents dans la strate gaulis en 2008 en fonction de leur année d'établissement relativement à l'année de coupe.

3.3.3 La croissance des gaules de BOJ

En considérant le patron d'installation observé, il est légitime de se demander si chacun de ces groupes d'individus (nouvellement établis, établis entre 1 et 6 ans avant coupe et établis au moins 7 ans avant coupe) répond de façon similaire à la perturbation créée. Il apparaît clairement (Figure 14) qu'il n'existe aucune différence statistique dans la réponse des trois groupes. Ainsi, un an après la coupe, l'ensemble des gaules préétablies de BOJ ont fait un gain de croissance radiale annuelle moyenne de 30% et ce gain monte à 100% après 8 ans (Figure 14). De leur côté, les individus nouvellement installés montrent une croissance qui, dès leur première année, équivaut à celle des individus préétablis (Figure 14). Cela reste le cas sur l'ensemble de la période inventoriée (i.e., les 8 premières années suivant la perturbation).

Cette absence de différence de croissance moyenne entre les groupes d'établissement démontre qu'il existe chez les individus de BOJ préétablis très peu de délais de réponse à l'ouverture du couvert. On notera cependant que la variabilité autour des valeurs de croissance radiale moyenne était bien plus élevée pour les individus établis avant coupe qu'après coupe. Ceci sous-entend donc que les individus nouvellement établis ont répondu de façon très similaire alors que les préétablis pouvaient montrer de très bonnes comme de très mauvaises réponses. Cette variabilité, observée chez les préétablis, pourrait provenir de différences dans le microenvironnement qu'ils subissaient avant coupe. En effet, différents microenvironnements amènent les individus

à développer différentes architectures de cime (Delagrange *et al.* 2004) lesquelles sont soupçonnées d'être plus ou moins bien adaptées à répondre à l'ouverture du couvert (Kneeshaw *et al.* 2002; Meinzer 2003).

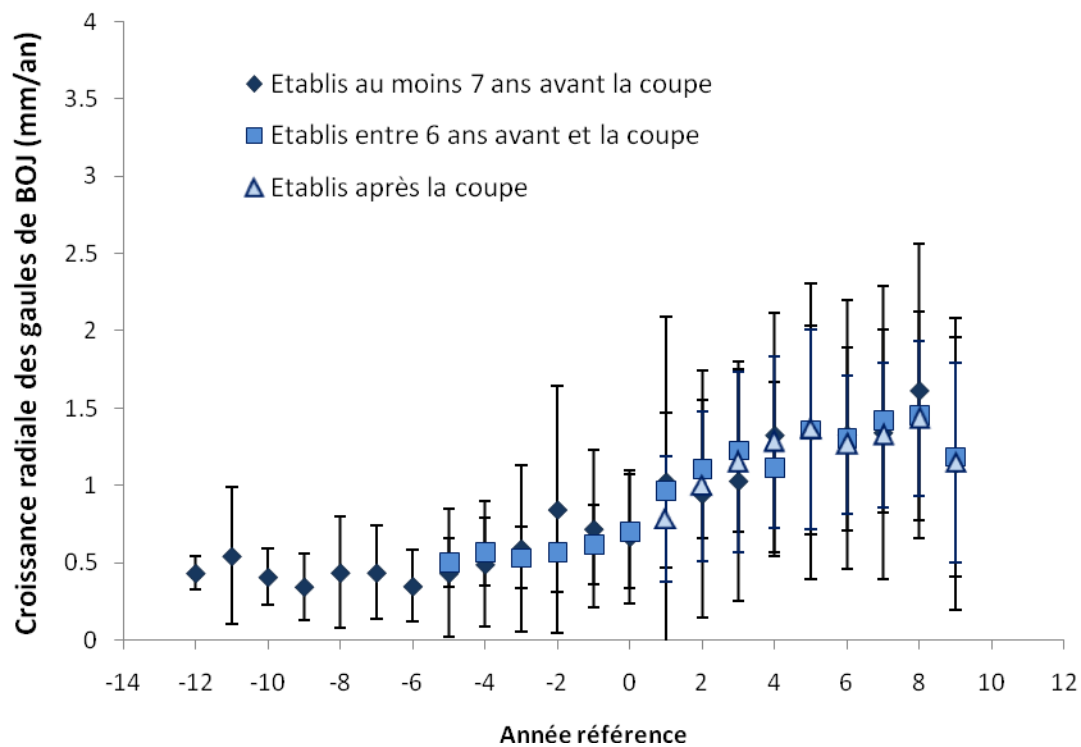


Figure 14: Croissance radiale annuelle moyenne des gaules de bouleau jaune en fonction de leur période d'établissement et de l'année relative à la réalisation de la coupe.

De plus, en détaillant la réponse de la croissance radiale des gaules de BOJ en fonction de la surface terrière après traitement (2008), il apparaît que l'augmentation de la surface terrière résiduelle tend à diminuer la croissance des gaules, mais que très peu de la variabilité (5.54%) de cette croissance est en fait expliquée par la surface terrière (Figure 15).

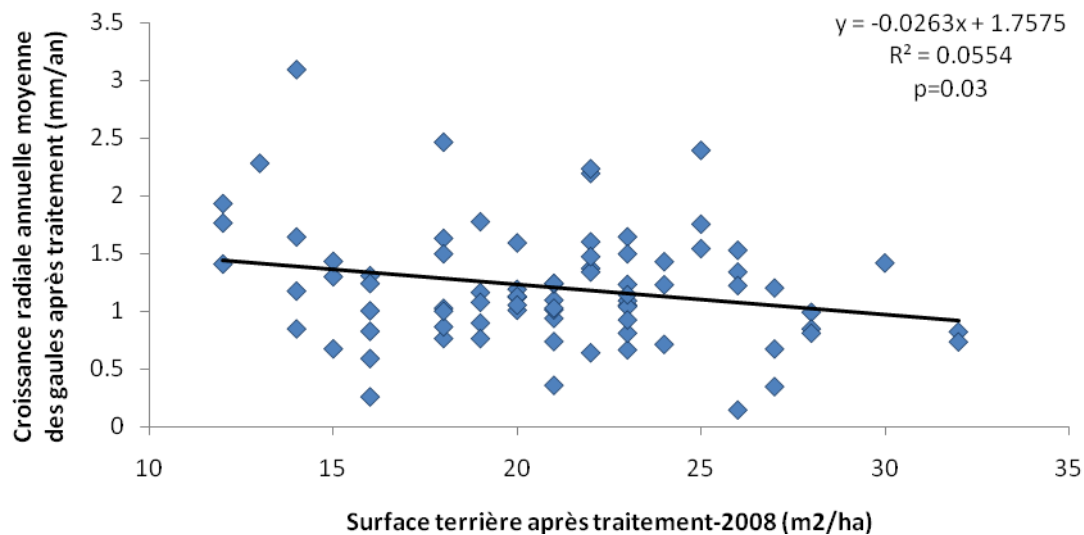


Figure 15: Croissance radiale annuelle moyenne des gaules de bouleau jaune sur la période de 7 ans suivant l'application du jardinage en fonction de la surface terrière après traitement (2008).

Afin de mieux comprendre d'où pouvait provenir la variabilité qui ne pouvait être expliquée par la surface terrière résiduelle, la surface terrière prélevée ainsi que la croissance avant coupe (sur une période de 7 ans) seulement pour les préétablis ont été ajoutés à l'analyse (Tableau 1). De toute évidence, l'explication de la variabilité de la croissance radiale après coupe s'est avérée très différente selon les groupes. Dans le groupe des nouvellement établis (Tableau 1, Figure 16), c'est l'interaction entre la surface terrière après coupe et la surface terrière prélevée qui a permis d'expliquer 53.7% de la variabilité de la croissance radiale annuelle moyenne après coupe. Ainsi, pour ce groupe, une bonne croissance est garantie par des surfaces terrières résiduelles plus faibles mais un effet supplémentaire est obtenu si le prélèvement de surface terrière a été élevé. L'importance de la surface terrière prélevée dans la croissance de ce groupe qui n'était pas présent au moment de la coupe pourrait correspondre à un lien indirect avec la perturbation du sol. En effet, un plus fort prélèvement de surface terrière est associable avec une perturbation plus importante du sol, lequel amène à une exposition plus fréquente de substrat minéral. Or, ce type de lit de germination est réputé pour garantir une meilleure croissance juvénile au BOJ (Lorenzetti *et al.* 2008; Godman *et al.* 1990).

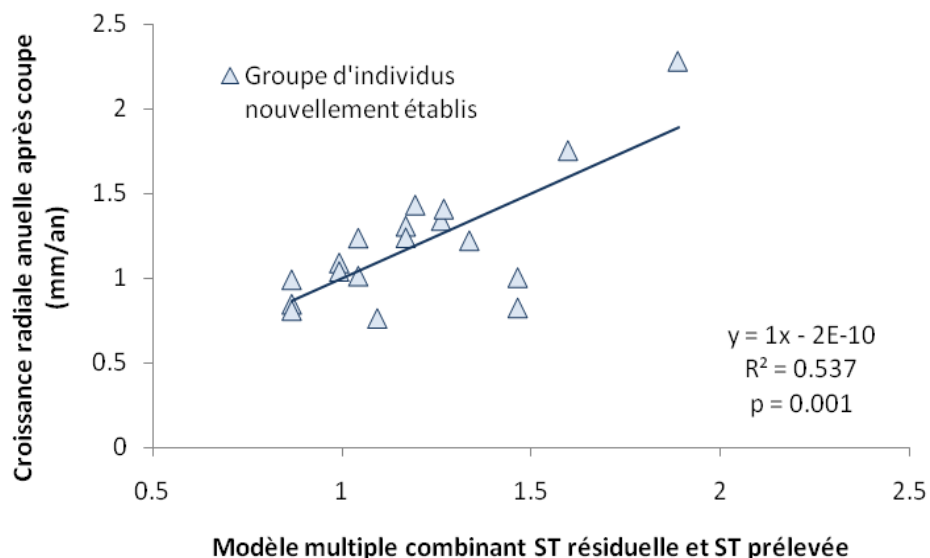


Figure 16: Régression linéaire entre la croissance radiale annuelle moyenne et un modèle multiple combinant la surface terrière après coupe et la surface terrière prélevée pour le groupe de gaules de bouleau jaune nouvellement établi.

Pour le second groupe des individus établis peu avant la coupe (1 à 6 ans), l'ensemble des facteurs testés était significatif (Tableau 1). Afin de simplifier l'interprétation de ces analyses, l'effet de la croissance avant coupe (indépendant du traitement) a, dans un premier temps, été retiré (à elle seule, cette variable explique 10% de la variabilité). Ensuite, la variabilité restante a été confrontée au modèle multiple combinant l'effet de la surface terrière résiduelle et celui du prélèvement de surface terrière (Figure 17). L'ensemble des variables expliquait 40.7% de la variabilité et la combinaison de la surface terrière après coupe et de la surface terrière prélevée expliquait 34.8% de cette variabilité. La croissance radiale après coupe de ce groupe est donc légèrement dépendante de sa croissance avant coupe. Cependant, c'est le prélèvement qui aura un impact plus conséquent sur l'amélioration de la croissance. En effet, pour ce groupe, un prélèvement important de surface terrière (p.ex. 14 m²/ha) va assurer les meilleures croissances des individus et cet effet sera bonifié par le fait que la surface terrière résiduelle soit plus basse (c'est-à-dire inférieure à 20m²/ha).

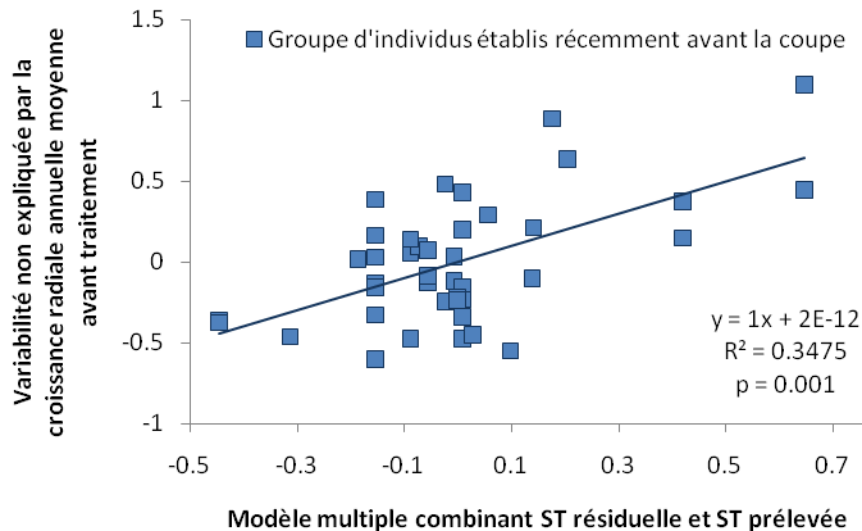


Figure 17: Régression linéaire entre la variabilité non expliquée par la croissance radiale annuelle moyenne avant traitement et un modèle de régression multiple. Ce modèle combine la surface terrière après coupe et la surface terrière prélevée pour le groupe de gaules de bouleau jaune établies récemment (1 à 6 ans) avant la coupe.

Finalement, pour le troisième groupe d'individus, établis au moins 7 ans avant la coupe, le traitement de jardinage n'a eu aucun effet sur la variabilité de réponse des gaules (Tableau 1). Pour ce groupe, l'ouverture du couvert, peu importe son intensité (comprise entre 8 et 14 m²/ha de prélèvement), et la surface terrière qui en résulte (comprise entre 12 et 27 m²/ha) n'ont pas eu d'importance. Seule la croissance avant coupe est un bon indicateur (40.6%) de la croissance après coupe (Figure 18). Ainsi, la coupe a en moyenne été bénéfique à la croissance des gaules de ce groupe, mais dans le détail, il est important de comprendre que les individus ayant avant coupe une bonne croissance ont très bien profité de l'ouverture (quelle qu'elle soit), mais que pour les individus qui montraient une faible croissance, l'ouverture n'a pas eu d'effet et même possiblement un effet négatif sur la croissance.

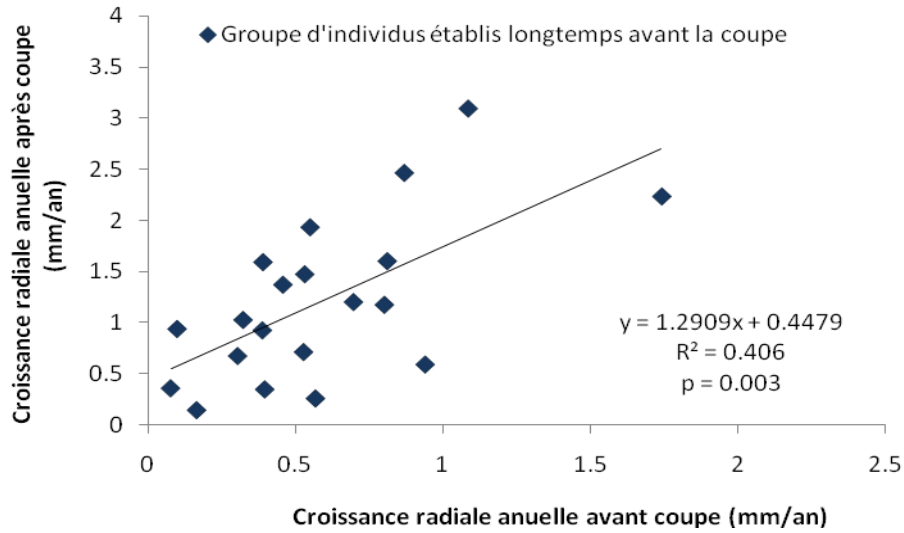


Figure 18: Régression linéaire entre la croissance radiale annuelle moyenne après traitement et la croissance radiale annuelle moyenne avant traitement pour le groupe de gaules de bouleau jaune établies longtemps (au moins 7 ans) avant la coupe.

Tableau 1: Résultats des régressions linéaires multiples réalisées par groupe d'établissement afin de déterminer quelles variables indépendantes sont impliquées dans l'explication de la variabilité de la croissance radiale annuelle moyenne des gaules de bouleau jaune.

		Variable explicative de la croissance radiale annuelle après coupe				Variabilité totale expliquée par l'ensemble des variables	Illustration
		Croissance avant coupe	ST après coupe	ST prélevée	ST après coupe X ST prélevée		
Groupe d'établissement	Individus nouvellement établis	- NA -	ns	ns	p=0.011	53.7%	Figure 6
	Individus établis entre 1 et 6 ans avant coupe	p=0.046	p=0.011	p=0.002	p=0.003	40.7%	Figure 7
	Individus établis au moins 7 ans avant coupe	p=0.003	ns	ns	ns	40.6%	Figure 8

- NA - : ne s'applique pas, ns : non significatif

4 Discussion générale et implications pour l'aménagement.

A l'échelle du peuplement, nos résultats semblent démontrer que l'accroissement brut après jardinage augmente légèrement avec une surface terrière plus élevée. Ce résultat est en contradiction avec ceux de Forget et al (2007) dans la région de Lanaudière et ceux de Erdmann and Oberg (1973) qui démontraient une relation inverse entre l'accroissement brut et la surface terrière résiduelle après coupe de jardinage. Nous croyons que ces différences s'expliquent par la faible réaction des tiges de plus de 30 cm de DHP suite à la coupe de jardinage (aucune réaction pour les tiges de plus de 40 cm de DHP). Nous observons en effet que la croissance des tiges de plus de 40 cm est, d'une part, plus faible que celle de la classe des 30-40 cm, et surtout, qu'elles ne réagissent pas du tout à la coupe de jardinage. Les tiges de 30-40 cm qui présentent des croissances intéressantes avant traitement ne réagissent que subtilement à la coupe de jardinage. Cette absence de réaction au jardinage pour les érables à sucre des plus grandes classes de DHP (30 cm et plus) fait en sorte de diminuer l'effet positif que pourrait avoir la coupe de jardinage. Deux raisons, liées entre elles, peuvent être apportées pour expliquer cette faible réaction des plus grosses tiges : les différentes périodes étudiées et le dépérissement de l'érable à sucre.

La période après traitement étudiée par Forget et al (2007) couvre de 1994-2003 alors que la période étudiée après traitement dans le cadre de ce projet couvre 2001- 2008. Or, depuis 2000-2001, on a enregistré peu de bonnes années de croissance pour l'érable à sucre (Nolet 2009). De plus l'année 1999, qui a été une année de croissance hors de l'ordinaire (positivement) apparaît dans la période après traitement dans l'étude de Forget et al (2007) alors qu'elle apparaît dans la période avant traitement pour la présente étude. Nous ne pouvons toutefois pas confirmer si ces faibles croissances enregistrées entre 2001-2008 sont dues à de mauvaises conditions climatiques. Il est en outre possible qu'elles soient liées à un phénomène de dépérissement et de diminution de croissance des érablières (Duchesne et al 2005 ; Nolet 2009).

Ainsi, il apparaît clairement que le fait de maintenir une surface terrière élevée après traitement (autour de 20 m²/ha) n'a pas nui à la productivité des forêts de la région.

Toutefois, sans une meilleure compréhension des causes de l'absence ou de la faible réaction des grosses tiges d'érable à sucre, nous ne pouvons confirmer (ou infirmer) que ce constat restera valable pour les années à venir. De meilleures conditions climatiques dans l'avenir, par

exemple, pourraient permettre d'observer une plus forte réaction des grosses tiges d'érable à sucre et modifier le constat que nous avons fait pour la période étudiée.

Par ailleurs, les différences de croissances observées en fonction des classes de diamètre peuvent présenter des implications intéressantes pour la sylviculture. Comme les tiges de plus de 40 cm de DHP ne croissent pas bien et qu'elles ne réagissent pas non plus à la coupe de jardinage, il pourrait être approprié de mettre l'accent sur ces tiges lors du martelage dans un objectif d'augmentation de l'accroissement des peuplements. C'est d'ailleurs ce que démontrent nos résultats où l'on observe une augmentation du rendement relatif avec une augmentation de la proportion de petites tiges. C'est donc sans doute plus en manipulant la structure des peuplements qu'en modifiant la surface terrière résiduelle minimale que l'on pourra optimiser la productivité des peuplements. D'autres études (e.g. Buongiorno et al 2000) ont d'ailleurs fait état de l'importance de la gestion des structures pour optimiser la productivité des peuplements forestiers.

En ce qui concerne la diversité en espèce, le jardinage n'a eu aucun impact direct sur la proportion relative des essences présentes au stade mature. De même, le stocking en gaules d'érable à sucre et de bouleau jaune ne semble pas être affecté par le maintien d'une surface terrière moyenne élevée bien qu'elle semble favoriser une augmentation de la proportion de hêtre à grande feuille dans la haute régénération.

Par ailleurs, le stocking en gaules de bouleau jaune, observé dans les peuplements, est plutôt faible, alors que le stocking en semis de cette même espèce est très bon. Ceci suggère que l'environnement lumineux (trop faible) créé par le traitement ne permet pas à une proportion satisfaisante de bouleau jaune de poursuivre leur développement et d'atteindre la canopée. Or, au regard de la réponse de croissance des gaules de bouleau jaune, il apparaît clairement qu'un abaissement de la surface terrière résiduelle ne stimulerait en rien la croissance des individus. En effet, il a été observé que les gaules de bouleau jaune, présentes dans les peuplements 8 ans après jardinage, s'étaient majoritairement installées avant l'application du traitement et que la réponse de ces mêmes individus au traitement était d'abord reliée à leur historique de croissance plutôt qu'à l'intensité du prélèvement ou la surface terrière résiduelle. Ainsi, il semble que la lumière disponible suite à la coupe de jardinage n'est qu'occasionnellement suffisante pour faire passer les semis au stade gaulis.

Dans un contexte sylvicole où l'on désire favoriser le bouleau jaune, la capacité de cette essence à établir des semis et des gaules sous couvert pouvant répondre à des ouvertures

devrait être mise à profit. De plus, cette capacité ne semblant pas (pour les gaules établies de longue date) ou partiellement (pour les gaules préétablies peu avant la coupe) être dépendante de la surface terrière résiduelle ou prélevée, l'abaissement de la surface terrière ne représente pas une solution adéquate. Ceci vient directement du fait que la surface terrière est loin d'être un indicateur approprié de l'environnement lumineux environnant. **Ainsi, sans que la coupe de jardinage (peu importe la surface terrière résiduelle) ne nuise à l'établissement des nouvelles cohortes de semis de bouleau jaune, elle ne semble pas, à elle seule, permettre de maximiser les chances de survie et de bonne croissance des individus préétablis.** Nous proposons donc l'application d'un traitement additionnel visant à structurer l'environnement proche de ces gaules d'avenir afin de leur fournir un environnement lumineux adéquat. Ce traitement pourrait être exécuté entre deux passages de la coupe de jardinage, soit environ 10-12 ans après un traitement commercial.

Plus de recherches concernant (i) le lien entre la structure du peuplement et l'environnement lumineux local créé et (ii) la reconnaissance de la vigueur de gaules de bouleau jaune préétablies en sous couvert seront toutefois nécessaires car ces deux notions sont à la base de la définition de ce type de traitement visant à favoriser la régénération en bouleau jaune.

Références

- Beaudet, M., Messier, C., and Canham, C.D. 2002. Predictions of understorey light conditions in northern hardwood forests following parameterization, sensitivity analysis, and tests of the SORTIE light model. *For. Ecol. Manage.* 165: 235-248.
- Bédard, S., Meunier, S., Blais, L., and Majcen, Z. 2004. Les effets réels des coupes de jardinage dans les forêts publiques du Québec de 1995 à 1998. 483, -48. Gouvernement du Québec, Ministère des ressources naturelles, de la Faune et des Parcs.
- Bédard, S. et Brassard, F., 2002. Les effets réels des coupes de jardinage dans les forêts publiques du Québec en 1995 et 1996. Gouvernement du Québec, Ministère des Ressources naturelles, direction de la recherche forestière et des programmes forestiers, p. 15.
- Bédard, S. et Majcen, Z., 2001. Ten-year response of sugar maple-yellow birch beech stands to selection cutting in Québec. *Northern J. Appl. Forestry* 18, 119–126.
- Delagrangé, S., Messier, C., Lechowicz, M.J., and Dizengremel, P. 2004. Physiological, morphological and allocational plasticity in understory deciduous trees: Importance of individual size and light availability. *Tree Physiol.* 24: 775-784.
- Erdmann, G.G. and Oberg, R.R. 1973. Fifteen-year results from six cutting methods in second growth northern hardwoods. St. Paul, MN: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station.
- Erdmann, G.G. 1990. *Betula alleghaniensis* Britton, Yellow Birch. *In* *Silvics of North America, Volume 2 : Hardwoods*. E.U. Forest service, Washington. pp. 133-147.
- Forget, E., Nolet, P., Doyon, F., Delagrangé, S., and Jardon, Y. 2007. Ten-year response of northern hardwood stands to commercial selection cutting in southern Québec, Canada. *For. Ecol. Manage.* 242: 764-775.
- Givnish, T.J. 1988. Adaptation to sun and shade: A whole plant perspective. *AUST. J. PLANT PHYSIOL.* 15: 63-92.
- Godman, R.M., Yawney, H.W., and Tubbs, C.H. 1990. *Acer saccharum* March, Sugar Maple. *In* *Silvics of North America, Volume 2 : Hardwoods*. U.S. Forest service, Washington. pp. 78-91.
- Hintze, J.L. NCSS and Pass. Number Cruncher Statistical Systems. Kaysville, Utah. www.ncss.com. 2004.
Ref Type: Serial (Book, Monograph)
- Kneeshaw, D.D., Williams, H., Nikinmaa, E., and Messier, C. 2002. Patterns of above- and below-ground response of understory conifer release 6 years after partial cutting. *Can. J. For. Res.* 32: 255-265.
- Lessard, G., Rycabel, T., Blouin, D., Huot, M., Jobidon, R., Camiré, C., et Olivier, C. 1999. L'utilisation des trouées dans la régénération des forêts du Québec. *L'Aubelle* 128: 1-15.

Lorenzetti, F., Delagrangé, S., Bouffard, D., and Nolet, P. 2008. Establishment, survivorship, and growth of yellow birch seedlings after site preparation treatments in large gaps. *For. Ecol. Manage.* 254: 350-361.

McClure, J.W., Lee, T.D., and Leak, W.B. 2000. Gap capture in northern hardwoods: Patterns of establishment and height growth in four species. *For. Ecol. Manage.* 127: 181-189.

McGee, G.G. and Birmingham, J.P. 1997. Decaying logs as germination sites in northern hardwood forests. *Northern Journal Applied Forestry* 14: 178-182.

Meinzer, F.C. 2003. Functional convergence in plant responses to the environment. *Oecologia* 134: 1-11.

Messier, C. and Nikinmaa, E. 2000. Effect of light availability and sapling size on growth, biomass allocation and crown morphology of understory Sugar Maple, Yellow Birch and American Beech. *Ecoscience* 7: 345-356.

Ministère des Ressources naturelles du Québec. 1998. Manuel d'aménagement forestier. Gouv. Québec, Min. Ress. nat., Dir. prog. for. 122 p.

Niese, J.N. and Strong, T.F. 1992. Economic and Tree Diversity Trade-Offs in Managed Northern Hardwoods. *Canadian Journal of Forest Research-Revue canadienne de Recherche forestière* 22: 1807-1813.

Nolet, P. et Rojas, J. 1998. Effets des coupes de jardinage sur la biodiversité végétale. Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue, Ripon, Qc, Canada. 28 p.

Nolet, P., Delagrangé, S., Bouffard, D., Doyon, F., and Forget, E. 2008. The successional status of sugar maple (*Acer saccharum*), revisited. *Ann. Forest Sci.* 65: 208-.

Raymond, P., Munson, A.D., Ruel, J.C., and Nolet, P. 2003. Group and single-tree selection cutting in mixed tolerant hardwood-white pine stands: Early establishment dynamics of white pine and associated species. *For. Chron.* 79: 1093-1106.

Robitaille, A. et Saucier, J.P. 1998. Paysages régionaux du Québec méridional. Gouvernement du Québec. Éd. Les publications du Québec. 213 p.

Solomon, D.S. 1977. The Influence of Stand Density and Structure on Growth of Northern Hardwoods in New England. Upper Darby, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station.

Annexe 1

Plans de sondage du premier inventaire pour les trois peuplements.

