



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

## **Suivi de la régénération du bouleau blanc cinq ans après coupe progressive d'ensemencement avec et sans scarifiage**

Rapport produit et rédigé par :

Frédéric Doyon, ing. f., Ph. D.

Philippe Nolet, B. Sc., M. Sc.

François Lorenzetti, Ph. D.

Présenté à :

Réjean Marois

Léandre et Louise Meilleur

U.G. 064 (Mont-Laurier)

Max Meilleur et Fils Ltée



**Mars 2001**

**Remerciements**

Nous voulons en premier lieu remercier Alain Guay, anciennement à la Coopérative Forestière des Hautes Laurentides, qui a su mettre ensemble les joueurs pour réaliser ce suivi, et Denise Julien pour avoir trouvé les fonds pour l'analyse et l'interprétation des résultats. Notre gratitude va aussi à Luc St-Hilaire et ses employés, qui ont effectué un travail impeccable sur le terrain lors de la prise des données. Nous tenons également à témoigner notre reconnaissance à Daniel Pin pour les clarifications qu'il nous a apportées sur le dispositif. Nous remercions Pascale Sabbagh pour sa collaboration lors de la rédaction. Ce projet de suivi a été réalisé grâce au Programme de Mise en Valeur du Milieu Forestier (Volet I) en association avec Max Meilleur et Fils.

---

Suivi de la régénération du bouleau blanc cinq ans après coupe progressive d'ensemencement avec et sans scarifiage.

Frédéric Doyon<sup>1</sup>, Philippe Nolet<sup>1</sup> et François Lorenzetti<sup>2</sup>

<sup>1</sup>IQAFF 88, rue Principale, St-André-Avellin, Québec, J0V 1W0

<sup>2</sup>GREFi Département des Sciences Biologiques, UQÀM, CP 8888, Succ. Centre-ville, Montréal, Québec, H3C 3P8

## Résumé

Le remesurage des placettes échantillons établies par Pin et Meek (1997) pour évaluer la régénération en bouleau à papier (*Betula papyrifera*) et la végétation concurrente après coupe progressive d'ensemencement avec et sans scarifiage dans des bétulaies blanches a été effectué cinq ans après traitement. La densité et le stocking de la régénération en bouleau à papier a été caractérisée sur les sites scarifiés et les sites non-scarifiés selon la hauteur, l'origine du semis et le statut de compétition. La végétation concurrente arborescente et non-arborescente a aussi été évaluée. Le remesurage des parcelles dendrométriques (11.28 m) a permis de déceler une très grande mortalité en cime chez les semenciers de bouleau dans le couvert résiduel. De façon générale, la coupe progressive d'ensemencement assure une quantité suffisante et une bonne distribution de semis de bouleau susceptibles de reconstituer le peuplement (non-opprimés). Le scarifiage permet d'améliorer considérablement la densité et le stocking, essentiellement en semis issus de graines. En effet, les poquets continuent d'offrir de bons microsites d'établissement plusieurs années après leur création. Le scarifiage aide aussi à contrôler la végétation concurrente en espèce non-arborescente autant du point de vue de son abondance que de sa hauteur. Cependant, il stimule la régénération en peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*) de façon à peut-être compromettre l'avènement de la bétulaie blanche. Le fait que nous avons détecté une relation, négative, entre le stocking en bouleau et la surface terrière résiduelle seulement sur sites non-scarifiés nous informe que la source en graines n'est pas limitative à l'établissement des semis de bouleau. Compte tenu de cela et que la mortalité en cime est très élevé, nous proposons d'utiliser plutôt la coupe avec réserve de semenciers dans les bétulaies blanches. L'utilisation du scarifiage, quoique augmentant le stocking et la densité, ne nous paraît pas nécessaire compte tenu du bon stocking quand même observé sur site non-sarifiés, d'autant plus que la compétition en peuplier y est moins agressive. Le scarifiage pourrait alors être remplacé par un nettoyage appliqué entre 5 et 10 ans.

---

## Tables des matières

<b>REMERCIEMENTS .....</b>	<b>I</b>
<b>RÉSUMÉ .....</b>	<b>II</b>
<b>TABLES DES MATIÈRES.....</b>	<b>III</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>IV</b>
<b>LISTE DES FIGURES .....</b>	<b>IV</b>
<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>MÉTHODOLOGIE .....</b>	<b>3</b>
DISPOSITIF ET MÉTHODOLOGIE INITIALE.....	3
MÉTHODOLOGIE DE SUIVI.....	4
ANALYSES STATISTIQUES .....	4
<b>RÉSULTATS.....</b>	<b>6</b>
DEVENIR DES SEMENCIERS.....	6
RÉGÉNÉRATION DU BOULEAU À PAPIER .....	6
<i>1 Scarifiage .....</i>	<i>6</i>
<i>2 Surface terrière résiduelle.....</i>	<i>10</i>
<i>3 Régénération en essences compagnes.....</i>	<i>10</i>
<i>4 Végétation concurrente .....</i>	<i>12</i>
<b>DISCUSSION .....</b>	<b>15</b>
LES SEMENCIERS.....	15
LA RÉGÉNÉRATION .....	15
<b>IMPLICATIONS ET RECOMMANDATIONS .....</b>	<b>18</b>
<b>RÉFÉRENCES CITÉES .....</b>	<b>22</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>24</b>

## Liste des tableaux

Tableau 1. Pourcentage des tiges selon le niveau de mortalité en cime.....	6
--	---

## Liste des figures

Figure 1. Relation entre la mortalité en cime d'un bouleau à papier et la surface terrière l'environnant.....	7
Figure 2. Densité en semis de bouleau à papier sur site scarifiés et non-scarifiés. ....	7
Figure 3. Stocking (placette de 4 m <sup>2</sup> ) en bouleau à papier sur site non-scarifié selon la position sociale et la classe de hauteur des semis.....	9
Figure 4. Stocking (placette de 4 m <sup>2</sup> ) en bouleau à papier sur site scarifié selon la position sociale et la classe de hauteur des semis.....	9
Figure 5. Stocking (placette de 4 m <sup>2</sup> ) en bouleau à papier selon la nature du site (scarifié et non-scarifié) et le statut des tiges (opprimées et non-opprimées).....	10
Figure 6. Relation entre le stocking (placette de 4 m <sup>2</sup> ) en bouleau à papier et la surface terrière résiduelle sur sites scarifiés et non-scarifiés.....	11
Figure 7. Stocking (placette de 4 m <sup>2</sup> ) en semis des essences compagnes du bouleau à papier sur sites scarifiés et non-scarifiés.....	11
Figure 8. Stocking (placette de 4 m <sup>2</sup> ) en semis des essences compagnes du bouleau à papier sur sites scarifiés et non-scarifiés en fonction de la classe de hauteur. Les barres d'erreur expriment l'erreur-type.....	13
Figure 9. Recouvrement moyen en espèces concurrentes non-commerciales sur site scarifiés et non-scarifiés.....	14
Figure 10. Hauteur moyenne en espèces concurrentes non-commerciales sur site scarifiés et non-scarifiés.....	14

---

Figure 11. Stocking (placette de 4 m <sup>2</sup> ) des espèces concurrentes du bouleau à papier sur sites scarifiés et non-scarifiés.....	14
Figure 12. Courbe d'équivalence de stocking entre parcelles de 4 m <sup>2</sup> et parcelles de 25 m <sup>2</sup> .....	18
Figure 13 : Diagramme de synthèse de l'interprétation des résultats.....	21

---

## Introduction

Le bouleau à papier est une essence de plus en plus prisée par l'industrie du sciage et du déroulage au Québec. Ainsi, il est relativement nouveau d'avoir comme objectif de favoriser la régénération du bouleau à papier. La littérature démontre que plusieurs facteurs peuvent influencer l'établissement et la croissance des semis de bouleau à papier. Parmi les plus importants, mentionnons : a) le lit de germination, b) la végétation concurrente et c) le couvert résiduel.

Plusieurs études ont démontré un effet positif du scarifiage sur l'établissement du bouleau à papier. En effet, Marquis (1969) a observé que le nombre de semis un an après la germination était 15 fois plus grand sur un sol minéral que sur une litière de feuilles et environ trois fois supérieur à celui sur un humus. Pin et Meek (1997) ont démontré que la densité et le stocking en semis étaient plus élevés sur des sites scarifiés que sur des sites non perturbés. Nolet *et al.* (2000) ont aussi démontré que la mise à nu du sol minéral favorise la germination de bouleau à papier ; cet effet était toutefois moins marqué dans les trouées qu'en forêt jardinée. Ces études se sont concentrées sur l'effet à court terme du lit de germination, sans vérifier l'effet de celui-ci sur la croissance ultérieure des semis.

Le type de scarifiage utilisé a un impact très important, particulièrement sur la croissance subséquente. Densmore et Page (1992) ont démontré qu'un scarifiage superficiel à l'aide d'un bélier mécanique favorise bien plus l'établissement et la croissance des semis de bouleau qu'un scarifiage profond. Cela concorde avec la constat de Perala et Alm (1990a) dans leur revue de la littérature, qui ont observé une meilleure croissance des semis sur des sites scarifiés par râteau que sur des sites scarifiés avec un bélier mécanique. Bjorkbom (1972) a comparé la croissance de la régénération du bouleau à papier sur des sols scarifiés versus des sols non perturbés pour une période s'échelonnant sur 10 ans; les résultats montrent que la densité et la croissance en hauteur des semis étaient supérieures sur les sols non perturbés.

Un effet indirect du scarifiage est la stimulation de la végétation concurrente, et particulièrement celle du peuplier faux-tremble. En effet, le scarifiage, en plus de fournir des sites d'établissement pour les graines de peuplier, produit des blessures aux systèmes racinaires, ce qui stimule la croissance de drageons. LaBonté et Nash (1978) ont observé

---

que le peuplier faux-tremble pouvait éliminer progressivement le bouleau à papier avec l'âge. Ils ont mis en évidence que, si aucun nettoyage n'était fait, les peuplements seraient composés presque entièrement de peuplier. Au contraire, avec un/des nettoyage(s) en bas âge, les peuplements étaient en majeure partie composés de bouleau à papier. Dans une autre étude, LaBonté et Leso (1990) ont observé que le diamètre moyen des bouleaux à papier encore en vie à l'âge de 24 ans était de 8,6 cm dans des parcelles désherbées et dégagées, tandis qu'il était de 6,9 cm pour les parcelles dégagées en deux temps et de 4 cm pour les parcelles non traitées. Ces deux dernières études démontrent bien l'importance de la végétation concurrente sur la survie et la croissance des semis de bouleau à papier.

Les semis de bouleau à papier sont connus comme très sensibles à la sécheresse. Ainsi, plusieurs auteurs ont étudié l'effet du couvert résiduel sur la survie et la croissance des semis après une coupe progressive d'ensemencement. Perala et Alm (1989) ont démontré que la quantité et la hauteur des semis sont inversement proportionnelles à la densité du couvert résiduel. L'étude de Pin et Meek (1997) n'a permis de dégager qu'une très faible relation entre la densité en bouleau à papier et la surface terrière résiduelle ; quel que soit le type de site, aucune relation entre la surface terrière résiduelle et le stocking n'a été observée.

L'origine des semis de bouleau à papier, par voie végétative ou sexuée, importe également. Généralement, la croissance des rejets de souche est plus importante que celle des semis : elle peut atteindre 60 cm la première année, pour une hauteur moyenne de 1,5 m à l'âge de trois ans (Jobidon 1995 ; Haeussler et Coates 1986). Safford (1990) mentionne que la croissance des rejets de souche est de loin supérieure à celle des semis ; par conséquent, les rejets de souche parviennent plus vite à maturité et se détériorent aussi plus rapidement. En revanche, le bouleau à papier perd progressivement sa capacité à produire des rejets à partir de l'âge de 40 à 60 ans.

Dans le cadre du présent projet, un suivi du dispositif mis en place par Pin et Meek (1997) a été fait. Les principaux objectifs de ce suivi sont de vérifier 5 ans après coupe :

1. La mortalité en cime des semenciers laissés sur le parterre de coupe ;
2. L'effet du lit de germination sur le succès de l'établissement et de la croissance de la régénération en bouleau à papier;
3. L'effet de la surface terrière résiduelle sur la croissance et la survie des semis de bouleau à papier ;
4. L'effet de la végétation concurrente sur l'établissement et la croissance de la régénération en bouleau à papier.

## **Méthodologie**

### Dispositif et méthodologie initiale

Le secteur d'étude et le dispositif expérimental ont été décrits en détail par Pin et Meek (1997) ; nous reprenons ici certains points importants du dispositif pour faciliter la compréhension du suivi effectué.

Le secteur d'étude était localisé à 115 km au nord de Mont-Laurier, dans la région située au sud-ouest du lac Mazana, dans l'unité de gestion 64. Les peuplements étudiés étaient constitués de bétulaies blanches à sapin et de bétulaies blanches. À l'été 1996, une coupe progressive d'ensemencement a été effectuée dans 6 blocs expérimentaux à l'aide d'une abatteuse à tête multifonctionnelle, aboutissant à une surface terrière résiduelle en semenciers variant de 5,27 à 14,87 m<sup>2</sup>/ha. Dans chaque bloc, un scarifiage partiel de 250 sites/ha distribués uniformément a été effectué à l'aide d'un râteau de scarifiage monté sur une excavatrice.

Six cent six placettes échantillons circulaires de 4 m<sup>2</sup> ont été systématiquement réparties dans les six blocs, pairant sites scarifiés et non-scarifiés deux-à-deux, mais à quelques mètres de distance ces sites de faisant à minimiser l'effet de site. Dans chacune des placettes, un dénombrement des plantes par espèce et pour deux classes de hauteur (<

---

5 cm, > 5 cm) a été réalisé. Cinquante-huit parcelles d'inventaire dendrométrique (11.28 m de rayon) ont permis la description du peuplement résiduel pour chaque 10 hectares.

### Méthodologie de suivi

Les placettes échantillons ayant été identifiées de façon permanente à l'aide de piquets indicateurs, un re-mesurage des placettes échantillons a été possible. À cause de la contrainte de temps (saison tardive), seulement 419 placettes sur 606 (soit 69 %) ont été remesurées. Dans celles-ci, la régénération en bouleau à papier a été dénombrée par classe de hauteur (0-10 cm, 11-30 cm, 31-100 cm, > 100 cm). L'origine des semis (graine, rejet) a été notée. Une cote de statut social, décrivant si le semis était libre de croître, en compétition ou bien opprimé par la végétation concurrente, a également été attribuée. Enfin, un point de prisme (facteur 2) a été pris dans chaque placette échantillon.

En ce qui concerne les semis des autres essences forestières, un dénombrement par classe de hauteur a été effectué. La végétation concurrente non-arborescente a été évaluée globalement en termes de pourcentage de recouvrement et de hauteur moyenne. Pour chaque placette, les trois espèces concurrentes les plus abondantes ont été notées.

Des 58 parcelles dendrométriques inventoriées en 1996, 23 parcelles ont été remesurées. Pour chaque arbre, le pourcentage de mortalité en cime et la présence de blessures ont été notés. En outre, la surface terrière environnant chaque arbre a été mesurée à l'aide du prisme de facteur 2 .

### Analyses statistiques

Le relation entre la mortalité en cime et la surface terrière environnant un bouleau à papier a été testée à l'aide d'une analyse de régression linéaire. La différence entre les moyennes de mortalité en cime pour les bouleaux à papier avec et sans blessures a été testée avec un Test de Student. Pour comparer les densités en semis de bouleau à papier entre les sites scarifiés et non-scarifiés, le nombre de semis par parcelle a été converti par unité de surface (en m<sup>2</sup>). La différence entre les moyennes de densités par bloc (n=6) a été testée à l'aide d'un test de rang de Kruskal-Wallis, l'hétérogénéité des variances ne pouvant être corrigée par une transformation appropriée.

---

Le stocking a été calculé par bloc et l'effet du scarifiage sur le stocking a été testé en tenant compte de l'origine du semis, de sa position sociale et de sa classe de hauteur, à l'aide d'une analyse de variance factorielle de design split-plot (bloc-scarifiage-position sociale-classe de hauteur) (Petersen 1985). Pour certaines analyses, les semis libres de croûte et ceux en compétition ont été regroupés en « non-opprimés ».

Pour évaluer l'effet de la surface terrière résiduelle sur le stocking, 7 classes de surface terrière ont été établies de façon à équilibrer le nombre de placettes dans chaque classe (0, 1-2, 2-4, 3-4, 5-6, 7-10 et 10-15 m<sup>2</sup>/ha). La médiane de chaque classe de surface terrière a été mise en relation avec le stocking observé dans les placettes de cette classe, cela de façon séparée entre les sites scarifiés et les sites non-scarifiés. Une analyse de régression polynomiale du second degré a testé cette relation.

Le stocking en semis des essences compagnes a été calculé par bloc et par type de site et comparé entre les sites à l'aide d'un test de Student, en utilisant le cas échéant la correction pour variances inégales. Une analyse de variance à design split-plot a été utilisée pour tester l'effet du scarifiage sur les essences compagnes par classe de hauteur afin de pouvoir évaluer la nature des semis et tester l'effet d'interaction.

Le stocking en espèces concurrentes non-arborescentes a été calculé par bloc et par type de site. Le recouvrement moyen et la hauteur moyenne de la végétation concurrente ont été comparés entre les sites scarifiés et les sites non-scarifiés à l'aide d'un test de Student.

## Résultats

### Devenir des semenciers

Cinq ans après traitement, la mortalité en cime chez les semenciers de bouleau à papier a été très sévère (Tableau 1). Seulement un tiers des semenciers de bouleau n'avait expérimenté aucune mortalité.

Tableau 1. Pourcentage des tiges selon le niveau de mortalité en cime

Espèce	Nb tiges	% blessés	Pourcentage de mortalité en cime		
			0%	>50	100
Bouleau jaune	12	33	58%	25%	0%
Bouleau à papier	91	19	34%	41%	34%
Épinettes	7	29	100%	0%	0%
Érable rouge	28	11	43%	21%	11%
Peupliers	7	33	43%	29%	29%
Sapin baumier	55	18	78%	11%	9%

La mortalité en cime décroît avec la surface terrière (Figure 1,  $p < 0.001$ ,  $R^2 = 0.23$ ). Une mortalité en cime totale est très souvent observée chez les bouleaux à papier dont la surface terrière environnante est inférieure à 10 m<sup>2</sup>/ha (Figure 1). La mortalité en cime du bouleau à papier n'est pas liée à la présence de blessures (Tableau 1,  $p = 0.957$ ).

### Régénération du bouleau à papier

#### 1 Scarifiage

##### 1.1 Densité

L'effet du scarifiage sur la densité en semis de bouleau à papier est toujours aussi prononcé 5 ans après traitement ( $p = 0.0051$ ). On observe près de 17 fois plus de semis dans les microsites scarifiés (Figure 2).

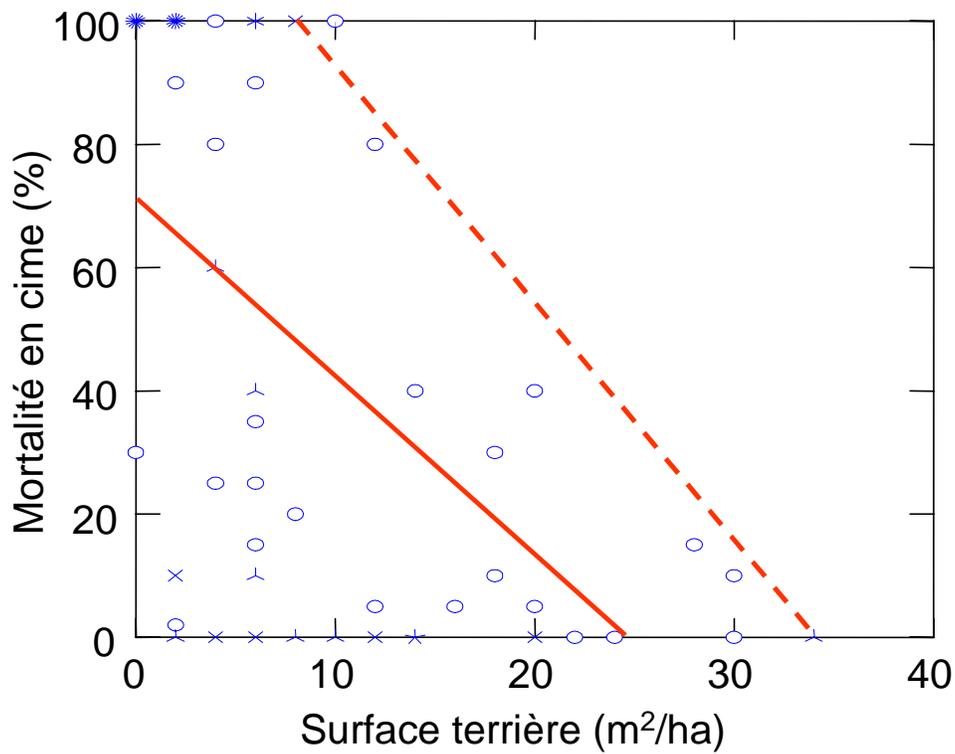


Figure 1. Relation entre la mortalité en cime d'un bouleau à papier et la surface terrière l'environnant. La ligne continue exprime la droite de régression et la ligne pointillée la mortalité maximale. Le nombre de branches des symboles indique le nombre d'observations.

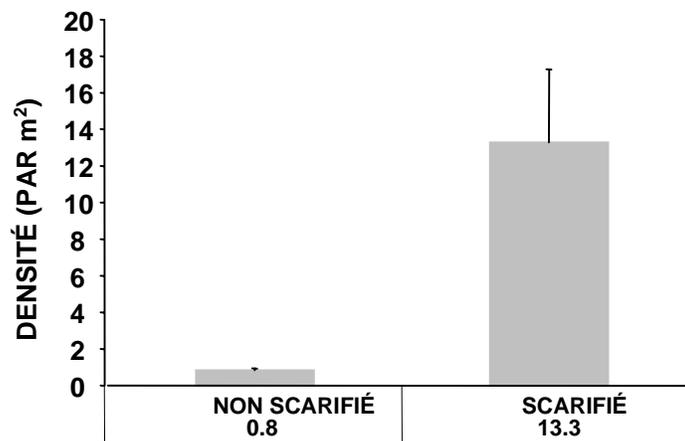


Figure 2. Densité en semis de bouleau à papier sur site scarifiés et non-scarifiés. Les barres d'erreur expriment l'erreur-type.

## 1.2 Stocking

Le stocking est lui aussi supérieur dans les blocs scarifiés ( $p=0.0004$ )<sup>1</sup>. On obtient un stocking moyen de 95% sur sites scarifiés, comparé à 51% sur sites non-scarifiés (Figure 3 et Figure 4). Cette différence de stocking entre les sites scarifiés et non-scarifiés s'accroît lorsqu'on considère le stocking des semis aptes à participer à la reconstitution du peuplement. Ainsi, le stocking des semis libres de croître est 3 fois plus élevé pour les sites scarifiés (29.6% vs. 8.8%). On observe en effet un stocking plus élevé en semis en compétition et libres de croître pour des classes de hauteurs plus faibles dans les sites scarifiés ( $p=0.0409$ )<sup>1</sup>. L'analyse détaillée par classe de hauteur montre cependant que la différence entre sites scarifiés et non-scarifiés n'est pas significative pour la dernière classe de hauteur, quelle que soit la position sociale des semis ( $> 100$  cm;  $p=0.0767$ )<sup>2</sup>.

Le même patron se dessine lorsqu'on regroupe les semis libres de croître et en compétition au sein d'une classe «non-opprimés»; le stocking sur les sites scarifiés est deux fois plus élevé que sur sites non-scarifiés (Figure 5). Il est intéressant de noter que le stocking en individus non-opprimés dans les sites non-scarifiés (32.5%, Figure 5) équivaut approximativement au stocking en semis libres de croître dans les sites scarifiés (29.6%, Figure 4). Le calcul des intervalles de confiance indique d'ailleurs que, 95% des fois, le stocking en semis non-opprimés en l'absence de scarifiage se situerait entre 21.9% et 43.1%, ce qui englobe largement la valeur de stocking de 29.6% en semis libres de croître lorsque l'on scarifie.

Le stocking des semis de bouleau à papier originant de graines est supérieur à celui de semis originant de rejets ( $p<0.0001$ )<sup>3</sup>. On constate en effet que le scarifiage favorise grandement le stocking sous forme de semis originant de graines (94.4% vs. 4.6% en rejets) alors que ceci est beaucoup moins important en absence de scarifiage (44.9% vs. 10.1% en rejets). Cette différence due au traitement est très hautement significative ( $p<0.0001$ )<sup>3</sup>. Ainsi, en ne scarifiant pas, on augmente le stocking en semis issus de rejets, tandis qu'en effectuant le traitement on augmente le stocking en semis issus de graines.

---

<sup>1</sup> voir Annexe 1 pour le tableau complet de l'analyse de variance

<sup>2</sup> voir Annexe 2 pour le tableau complet de l'analyse de variance

<sup>3</sup> voir Annexe 3 pour le tableau complet de l'analyse de variance

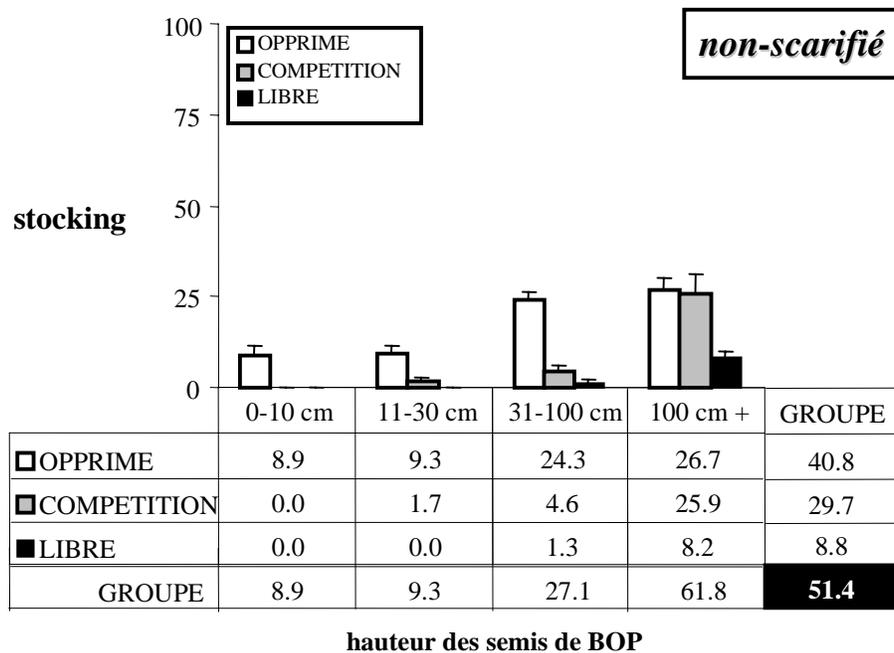


Figure 3. Stocking (placette de 4 m<sup>2</sup>) en bouleau à papier sur site non-scarifié selon la position sociale et la classe de hauteur des semis. Les barres d'erreur expriment l'erreur-type.

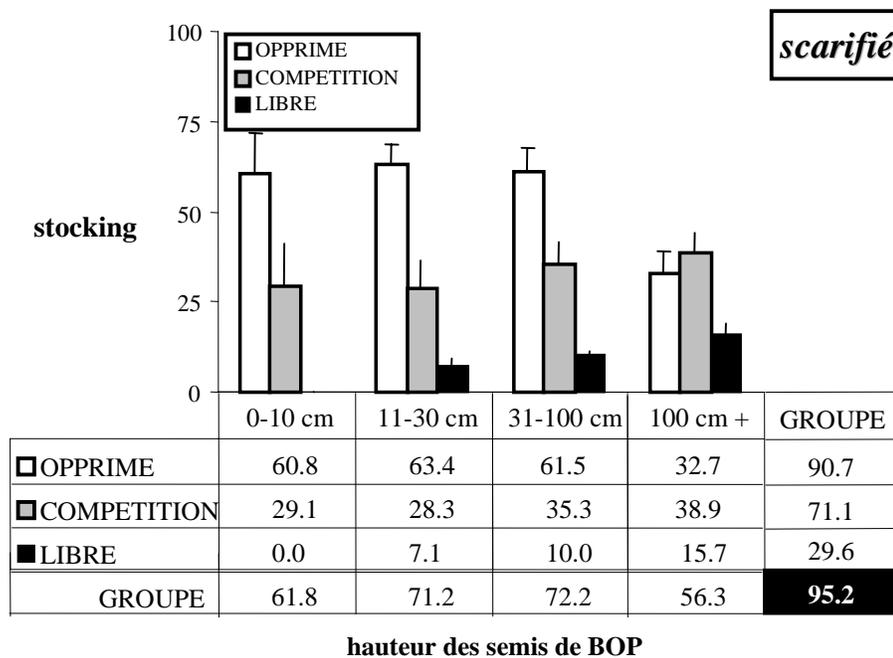


Figure 4. Stocking (placette de 4 m<sup>2</sup>) en bouleau à papier sur site scarifié selon la position sociale et la classe de hauteur des semis. Les barres d'erreur expriment l'erreur-type.

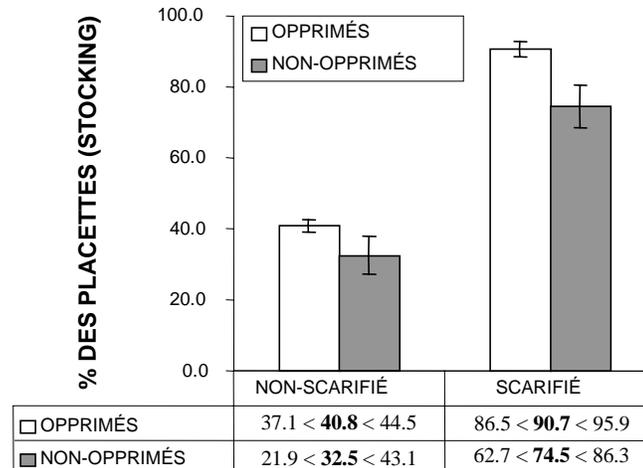


Figure 5. Stocking (placette de 4 m<sup>2</sup>) en bouleau à papier selon la nature du site (scarifié et non-scarifié) et le statut des tiges (opprimées et non-opprimées). Les barres d'erreur expriment l'erreur-type. Les valeurs du tableau indiquent les valeurs moyennes de stocking avec, de part et d'autre, les bornes inférieures et supérieures entre lesquelles on retrouverait ces valeurs moyennes 95% des fois.

## 2 Surface terrière résiduelle

### 2.1 Stocking

L'effet de la surface terrière résiduelle sur le stocking en bouleau à papier n'est apparent que pour les sites non-scarifiés (non-scarifié:  $p=0.007$ , scarifié:  $p=0.361$ )<sup>4</sup>. Sur ces sites, le modèle quadratique ajusté prédit que le stocking en bouleau à papier diminue rapidement avec la surface terrière au début lorsque la surface terrière augmente de 0 à 5 m<sup>2</sup>/ha, pour se stabiliser par la suite autour de 40% (Figure 6).

## 3 Régénération en essences compagnes

Le scarifiage affecte aussi le stocking des autres essences commerciales qui accompagnent le bouleau à papier mais ces différences de stocking ne sont significatives pour aucune espèce compte tenu de la très grande variabilité entre blocs. Pour les essences comme le peuplier (*Populus tremuloides*), le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis*) et

<sup>4</sup> voir Annexe 4 pour les tableaux complets de l'analyse de variance

l'épinette blanche (*Picea glauca.*), le stocking a tendance à être plus élevé dans les sites scarifiés alors que pour le sapin (*Abies balsamea*) et l'érable rouge (*Acer rubrum*) la tendance est à un stocking plus élevé dans les sites non-scarifiés (Figure 7).

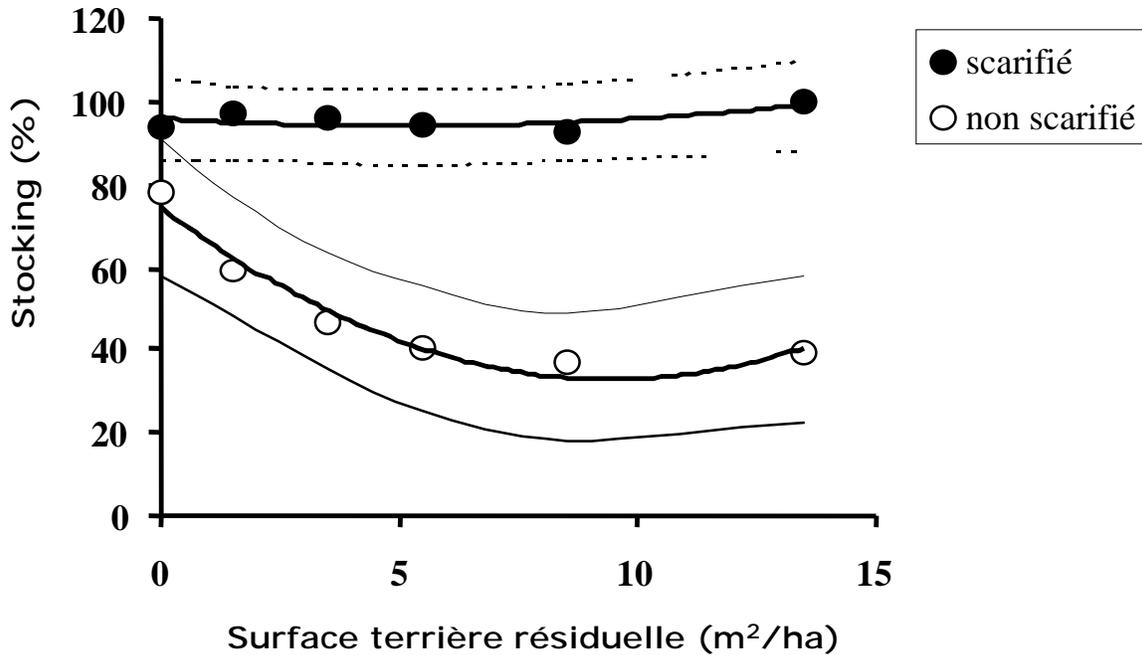


Figure 6. Relation entre le stocking (placette de 4 m<sup>2</sup>) en bouleau à papier et la surface terrière résiduelle sur sites scarifiés et non-scarifiés. La bande d'erreur exprime l'intervalle de confiance à 95%.

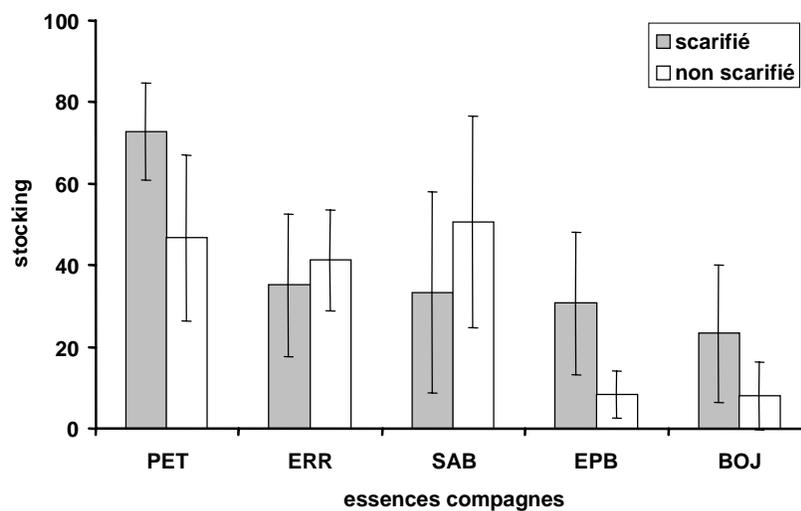


Figure 7. Stocking (placette de 4 m<sup>2</sup>) en semis des essences compagnes du bouleau à papier sur sites scarifiés et non-scarifiés. Les barres d'erreur expriment l'intervalle de confiance à 95%.

L'analyse détaillée du stocking des essences compagnes par classes de hauteur nous renseigne mieux sur la nature des semis qui constituent le stocking en ces essences. On observe en effet que le stocking est surtout dû aux petits semis pour le bouleau jaune (Figure 8a,  $p=0.006$ )<sup>5</sup> et l'épinette blanche (Figure 8c,  $p=0.006$ )<sup>5</sup>, alors que pour le peuplier faux-tremble, le stocking en grands semis est plus important (Figure 8d,  $p=0.006$ )<sup>5</sup>. Cependant, cette distribution par classe de hauteur n'est pas indépendante du traitement de scarifiage. Pour l'épinette blanche, l'effet d'interaction entre le scarifiage et la classe de hauteur est très significatif ( $p=0.006$ )<sup>5</sup>; on constate effectivement que, dans les petites classes de hauteur, le stocking en cette espèce est six fois supérieur sur sites scarifiés que non scarifiés (Figure 8c). Inversement, pour le sapin baumier, la différence de stocking entre sites scarifiés et non-scarifiés est perceptible plutôt dans les grandes classes de hauteur (Figure 8e,  $p=0.005$ )<sup>5</sup>. Pour l'érable rouge, l'effet d'interaction est très important : la différence de stocking varie inversement selon les classes de hauteur (Figure 8b,  $p=0.0001$ )<sup>5</sup>. Pour le bouleau jaune et le peuplier faux-tremble, l'effet d'interaction n'est pas significatif ( $p=0.061$ ,  $p=0.0608$ )<sup>5</sup> bien que la tendance soit à un plus grand stocking sur les sites scarifiés pour les petites classes de hauteurs de semis (figure 8a et 8d).

#### 4 Végétation concurrente

Cinq ans après traitement, le pourcentage de recouvrement de la végétation concurrente est presque deux fois plus important sur sites non-scarifiés que sur sites scarifiés ( $p=0.0008$ , Figure 9). On note également une tendance, quoique non significative, à observer une végétation concurrente plus haute sur ces sites ( $p=0.0817$ , Figure 10). On observe par ailleurs une différence de composition de la végétation concurrente (Figure 11) entre sites scarifiés et non-scarifiés : le scarifiage favorise un plus grand stocking de cerisier de Pennsylvanie (*Prunus pensylvanica*) et de chèvrefeuille du Canada (*Lonicera canadensis*), alors que les bouleaux blancs sur les sites non-scarifiés seront plutôt en compétition avec l'érable à épis (*Acer spicatum*), le noisetier à long bec (*Corylus cornuta*) et la viorne cassinoïde (*Viburnum cassinoides*).

---

<sup>5</sup> voir Annexe 5 pour le tableau complet de l'analyse de variance

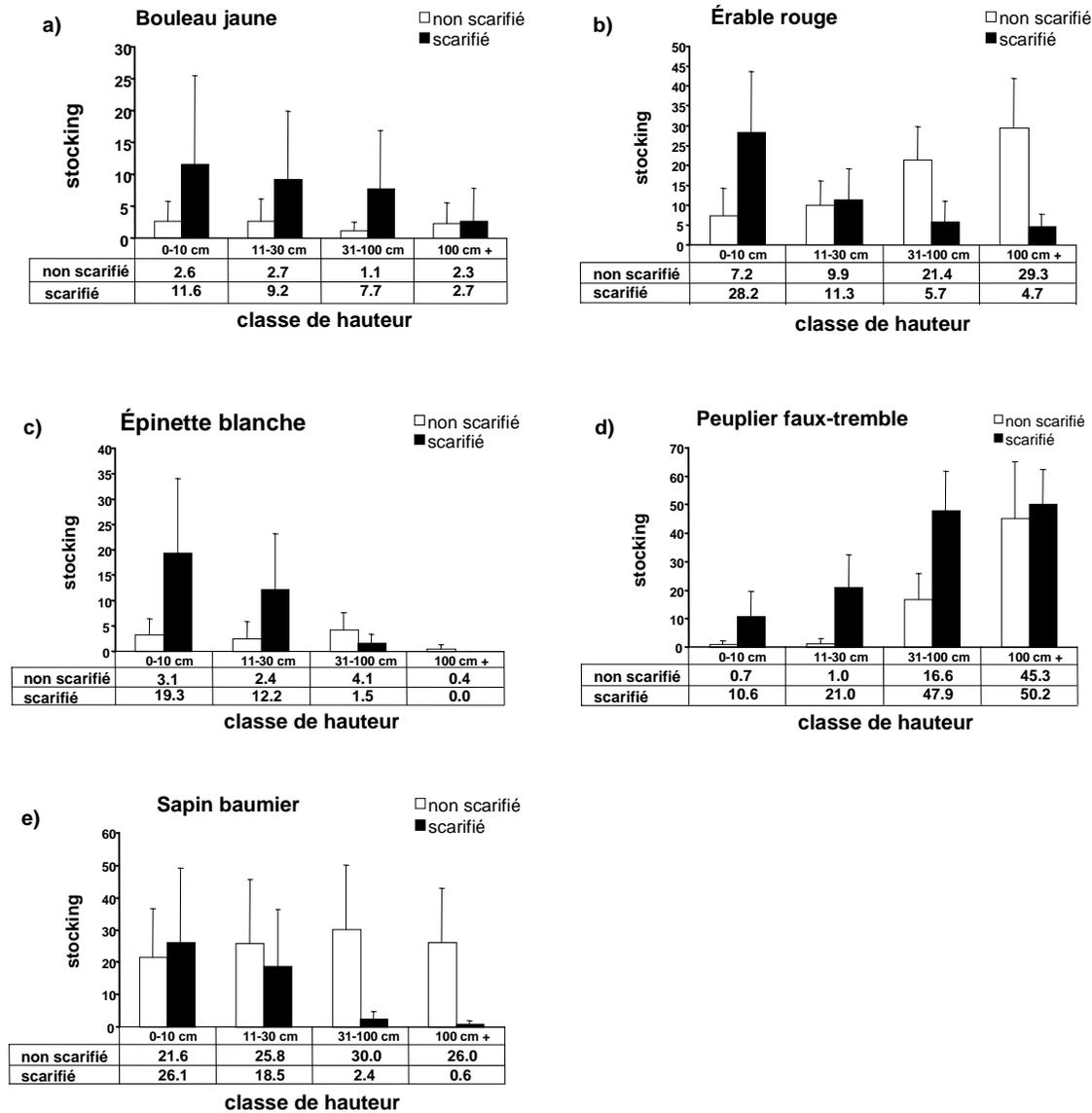


Figure 8. Stocking (placette de 4 m<sup>2</sup>) en semis des essences compagnes du bouleau à papier sur sites scarifiés et non-scarifiés en fonction de la classe de hauteur. Les barres d'erreur expriment l'erreur-type.

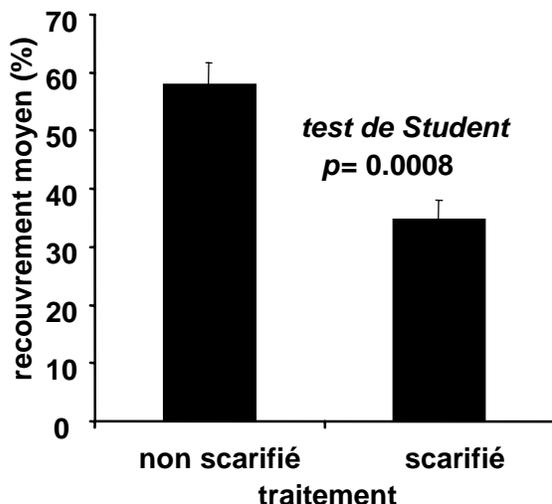


Figure 9. Recouvrement moyen en espèces concurrentes non-commerciales sur site scarifiés et non-scarifiés. Les barres d'erreur expriment l'erreur type.

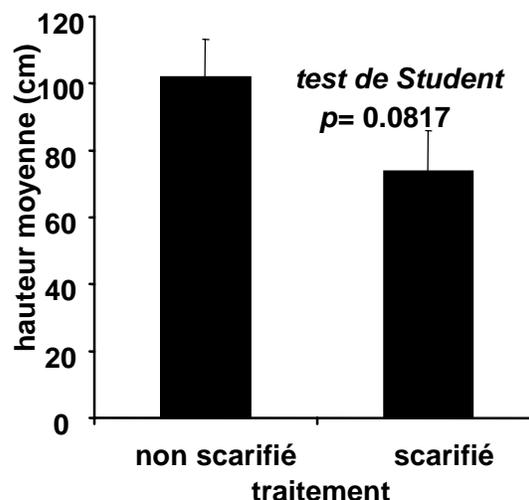


Figure 10. Hauteur moyenne en espèces concurrentes non-commerciales sur site scarifiés et non-scarifiés. Les barres d'erreur expriment l'erreur type.

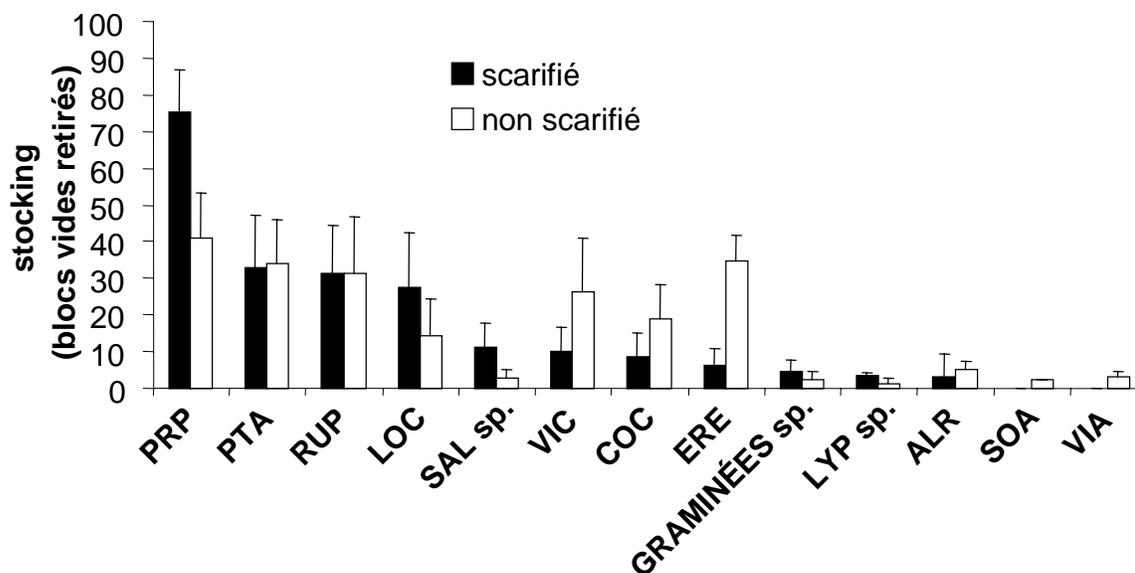


Figure 11. Stocking (placette de 4 m<sup>2</sup>) des espèces concurrentes du bouleau à papier sur sites scarifiés et non-scarifiés. Les barres d'erreur expriment l'intervalle de confiance à 95%. PRP=*Prunus pensylvanica*, PTA=*Pteridium aquilinum*, RUP=*Rubus spp.*, LOC=*Lonicera canadensis*, SAL sp.=*Salix spp.*, VIC=*Viburnum cassinoides*, COC=*Corylus cornuta*, ERE=*Acer spicatum*, LYP sp.=*Lycopodium spp.*, ALR=*Alnus rugosa*, SOA=*Sorbus americana*, VIA=*Viburnum alnifolium*

---

## Discussion

### Les semenciers

L'application de la coupe progressive d'ensemencement dans la bétulaie blanche pose un problème du point de vue de la survie des semenciers. Nos résultats démontrent que la mortalité observée n'est pas liée aux blessures dues à la récolte. La sensibilité des bouleaux à papier résiduels suite à une réduction du couvert est fréquemment relatée dans la littérature (Safford 1983). Certains expliquent cette fragilité par une mauvaise régulation hydrique du bouleau suite à un changement drastique de l'humidité du sol, qui provoquerait des cavitations de la colonne d'eau. Avec seulement un tiers des semenciers résiduels n'expérimentant pas de mortalité en cime 5 ans après la coupe progressive d'ensemencement, la coupe finale est fortement compromise. Cependant, cette mortalité n'empêche probablement pas le bouleau de jouer son rôle de semencier compte tenu de ses capacités de dissémination (Greene et Johnson 1995, Greene et Johnson 1997). De plus, il est connu que les arbres stressés produisent souvent plus de semences.

### La régénération

Le scarifiage augmente la densité et le stocking en bouleau à papier de façon très significative. Pendant la période 1996-2001, la densité en bouleau à papier est passée de 12,357 à 132,850 semis/ha dans les sites scarifiés alors qu'elle ne passait que de 7,532 à 8,250 semis/ha dans les sites non-scarifiés. Les poquets continuent donc d'être de très bons lits de germination pour l'établissement du bouleau à papier plusieurs années après leur création. Comparativement donc, les sites non-scarifiés n'ont obtenu qu'un gain net très faible ( $8250 - 7532 = 718$ ) en nouvelles recrues. Le stocking moins élevé des faibles classes de hauteur exprime clairement l'essoufflement rapide du recrutement en bouleau à papier sur les sites non-scarifiés comparativement aux sites scarifiés (Figure 3).

Une des conséquences de cette différence de gain net en recrues est la différence d'augmentation du stocking total. En effet, l'augmentation du stocking de bouleau blanc a été de beaucoup supérieure dans les sites scarifiés, passant de 71.9 % un an après traitement à 95.2 % 5 ans après traitement, que dans les sites non-scarifiés qui ont vu leur stocking passer seulement de 45.2 % à 51.4 % pour la même période. Non seulement le

stocking est supérieur dans les sites scarifiés mais la régénération à l'origine de ce stocking est en meilleure position pour constituer le prochain peuplement. On observe un stocking trois fois plus élevé en bouleau à papier libres de croître sur ces sites et le stocking en grands semis (> 30 cm) y est nettement supérieur. Ce résultat surprend car avec un stocking en semis pré-établis évalué à 20% en 1996 dans les sites non-scarifiés (Pin et Meek 1997) et une meilleure croissance des semis de bouleau à papier sur sites non-perturbés (Perala et Alm 1990a), on se serait attendu à un stocking supérieur en grands semis sur ces sites. Un avantage non négligeable décelé sur les sites non-scarifiés est un stocking plus élevé en semis originant de rejets. Ces semis ont, de loin, une croissance initiale supérieure à celle des semis originant de graines (Stafford *et al.* 1990, Jobidon 1995). Le scarifiage à l'aide du peigne réduirait donc le potentiel de rejets, peut-être en inhibant le potentiel de rejet ou en détruisant les souches.

Le scarifiage, en réduisant le recouvrement et la hauteur de la végétation concurrente, rend les semis présents en meilleure situation pour constituer le peuplement. En effet, on remarque, pour des classes de hauteurs plus faibles, un stocking en bouleaux à papier non-opprimés (donc susceptibles de constituer le prochain peuplement) plus élevé. Le scarifiage intervient aussi dans la composition de cette végétation concurrente. Sur site scarifié, on observe plus de *Prunus pensylvanica*. Cette espèce, de port arborescent, ne provoque pas énormément d'ombre et peut être considérée comme une espèce éducatrice (Hannah 1988). Sur sites non-scarifiés, *Viburnum cassinoides*, *Corylus cornuta* et *Acer spicatum* sont plus fréquents; ces espèces à port arbustif provoquent un ombrage prononcé qui ralentit la succession secondaire. Il est également intéressant de noter que le stocking en framboisier est passé, sur ces sites, de 70% à 32% en cinq ans. L'effet de la compétition du framboisier est donc passager.

Nous venons de voir que les sites scarifiés sont moins favorables à la végétation concurrente. Toutefois, dans le cas particulier de la régénération de peuplier faux-tremble, la situation semble inversée. Pin et Meek (1997) ont observé que le scarifiage favorise l'établissement de semis et le développement de drageons de peuplier. Nos résultats suggèrent que ces drageons sont encore présents 5 ans après traitement et qu'en outre l'établissement du peuplier par graine se poursuit dans les poquets. Les futurs

---

gaulis de bouleau à papier établis dans les poquets risquent donc de subir une compétition plus forte de la part du peuplier dans l'avenir.

La réponse de la régénération en bouleau à papier aux variations de la surface terrière résiduelle peut de prime abord surprendre. Une relation positive, tant sur les sites scarifiés que non-scarifiés, aurait suggéré un effet de la source en graines. Une relation négative détectée sur les deux types de sites aurait plutôt suggéré une réponse à la disponibilité en lumière. Dans le cas présent, conformément aux observations de Pin et Meek (1997), nous n'avons observé aucune relation sur sites scarifiés, alors que sur sites non-scarifiés il existe une relation quadratique négative. Nous pensons donc que la réponse de la régénération sur les sites non-scarifiés serait plutôt due à une plus grande intensité de perturbations au sol lorsque l'intervention est réalisée dans des secteurs où la surface terrière résiduelle est plus faible. Un plus grand brassage de l'humus favoriserait alors la création d'un plus grand nombre de micro-sites d'établissement. Ces résultats semblent démontrer que la source en graines n'est pas un facteur limitant pour l'établissement du bouleau à papier.

## Implications et recommandations

Lors du choix d'un système de régénération, le sylviculteur garde toujours à l'esprit deux objectifs : (1) obtenir une régénération minimale en essence(s) désirée(s) et (2) minimiser les efforts ultérieurs qui seront nécessaires pour le contrôle de la végétation concurrente. Cette étude visait donc à vérifier si l'utilisation de la coupe progressive d'ensemencement avec scarifiage dans les bétulaies blanches permettait de réaliser ces deux objectifs. Dans l'optique de produire du bouleau de qualité sciage/déroutage, il est souhaitable d'obtenir une densité de 200 à 400 tiges/ha. Pour répondre à cet objectif, le stocking doit être de 50 à 100% dans des parcelles de 25 m<sup>2</sup>.

Notre étude étant basée sur des parcelles de 4 m<sup>2</sup>, nous avons développé une courbe de correspondance entre les parcelles de 4 m<sup>2</sup> et les parcelles de 25 m<sup>2</sup> (Figure 12). Cette courbe a été obtenue par la technique de « bootstrapping ». Des simulations ont permis de calculer combien de groupes de 6 parcelles choisies au hasard parmi un millier (6 x 4 = 24 m<sup>2</sup>) possèdent au moins 1 semis lorsque le stocking des parcelles de 4 m<sup>2</sup> varie de 0% à 60%. À l'aide de cette courbe de correspondance, on s'aperçoit qu'à un stocking de 50% dans des parcelles de 25 m<sup>2</sup> correspond un stocking de 10% dans des parcelles de 4 m<sup>2</sup>.

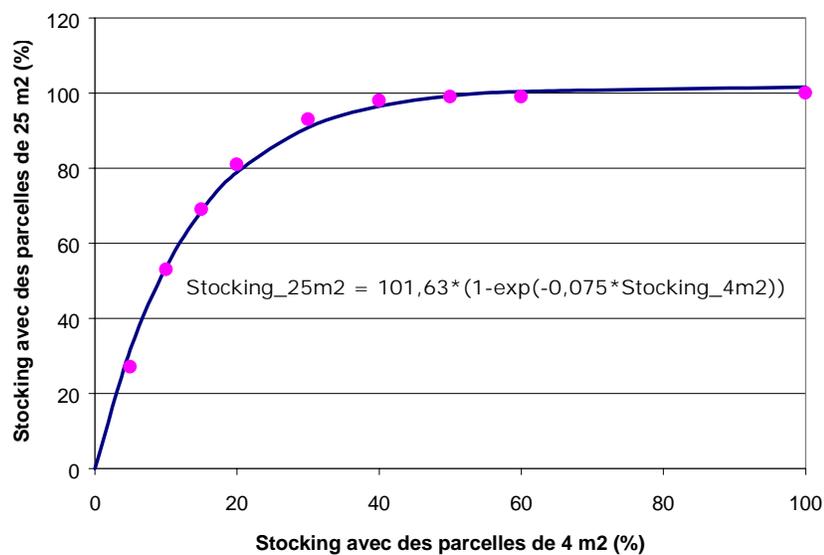


Figure 12. Courbe d'équivalence de stocking entre parcelles de 4 m<sup>2</sup> et parcelles de 25 m<sup>2</sup>.

Ainsi, avec un tel stocking minimal, nous pouvons affirmer que la coupe progressive d'ensemencement avec scarifiage permet de rencontrer le premier objectif cinq ans après intervention. En effet, ce stocking minimal correspond à un stocking en bouleau à papier libres de croître suffisant (~30%, Figure 4). Cependant, le scarifiage est-il nécessaire à l'obtention d'une régénération suffisante? Sur sites non-scarifiés, on obtient un stocking de ~9% en semis libres de croître, ce qui est proche du 10% requis pour obtenir un stocking de 50% sur des parcelles de 25 m<sup>2</sup>. C'est pourquoi nous pensons qu'il n'est pas nécessaire de scarifier, étant donné qu'un simple effort de nettoyage permettrait de compléter facilement le manque à gagner. Ce choix semble d'autant plus justifié que le scarifiage augmente les efforts nécessaires au contrôle de la compétition concurrente de peuplier. Or il est primordial de contrôler le peuplier faux-tremble pour obtenir une bétulaie blanche de belle venue, comme le soulignent Labonte et Leso (1990).

Puisque la mortalité en cime des bouleaux à papier est extrêmement élevée cinq ans après la coupe, que la surface terrière résiduelle nécessaire pour empêcher cette mortalité est supérieure à ce qu'une coupe progressive d'ensemencement laisse habituellement (5-10 m<sup>2</sup>/ha) en place et que la source en graines de bouleau à papier ne semble pas être une limite à la régénération (Perala et Alm 1990b), il apparaît clair que la coupe progressive d'ensemencement n'est pas appropriée pour la remise en production de la bétulaie blanche. À la lumière de nos résultats, il semble qu'il serait plus adéquat d'utiliser la coupe avec réserve de semenciers. Cette recommandation est d'autant plus pertinente qu'il a été démontré que la croissance des semis de bouleaux à papier est réduite dans des coupes progressives d'ensemencement comparativement à des coupes totales (Zasada *et al.* 1977). En ce qui concerne la coupe avec réserve de semenciers, Perala et Alm (1990a) proposent de laisser 7 à 12 semenciers à l'hectare, tandis que l'étude de Quentin (1994) démontre que 6 bouleaux/ha sont amplement suffisants lorsque la coupe est associée à un scalpage. Étant donné que le bouleau à papier produit un grand nombre de graines tombant principalement entre 30 et 60 m (Safford 1983) mais facilement jusqu'à 100 m (Houle et Payette 1991) et que les bouleaux récoltés peuvent produire des rejets, un nombre de 5 semenciers/ha nous paraît approprié. Les semenciers devront être bien répartis. Puisque la pluie de graines est disséminée grâce à l'action

---

conjointe de la gravité et du vent, le choix de la localisation des semenciers se fera en tenant compte de la topographie des lieux et des vents dominants.

Suite à une coupe avec réserve de semenciers, l'aménagiste se trouve devant un choix : ou bien il scarifie ou il ne scarifie pas (Figure 13). En l'absence de scarifiage, il est fort probable qu'un nettoyage en bas âge sera nécessaire afin de favoriser la croissance des semis en compétition. En effet, il y a moins de semis libres de croître sur les sites non-scarifiés. Le nettoyage sera d'autant plus nécessaire que certaines espèces compétitrices tel l'érable à épis et le noisetier peuvent créer un ombrage important au semis. En revanche, l'éclaircie précommerciale pourra peut-être être supprimée. En effet, la plus grande abondance de rejets de bouleau à papier sur sites non scarifiés, la meilleure croissance du bouleau à papier sur humus non perturbé (Bjorkbom 1972) et la compétition moins forte du peuplier sur sites non-scarifiés sont tous des facteurs qui diminuent la probabilité de la nécessité d'une éclaircie pré-commerciale.

Si l'aménagiste décide de scarifier, le nettoyage ne sera probablement pas nécessaire puisqu'un nombre suffisant de bouleaux à papier se trouvent libres de croître. Cependant, d'après les résultats de Labonté et Leso (1990), la compétition par le peuplier – s'il est présent dans le peuplement - risque d'être néfaste au bouleau. Ainsi, en présence de peuplier, il est fort probable qu'une éclaircie pré-commerciale devra être réalisée.

Ainsi, l'absence de scarifiage présente le désavantage d'une moins grande sécurité en ce qui a trait à l'obtention d'une régénération suffisante en bouleau à papier. En revanche, la croissance des semis est meilleure en raison de leur origine (rejets) et de la meilleure qualité du lit de germination. De plus, cette option comporte moins d'interventions et serait donc potentiellement moins onéreuse.

Une étude sur le nettoyage permettrait de vérifier les scénarios ici présentés. Le dispositif établi par Pin et Meek (1997) présente les conditions de réalisation d'une telle étude. Nous recommandons de reprendre ce dispositif et d'effectuer une étude sur l'effet du nettoyage, selon que le site a été scarifié ou non.

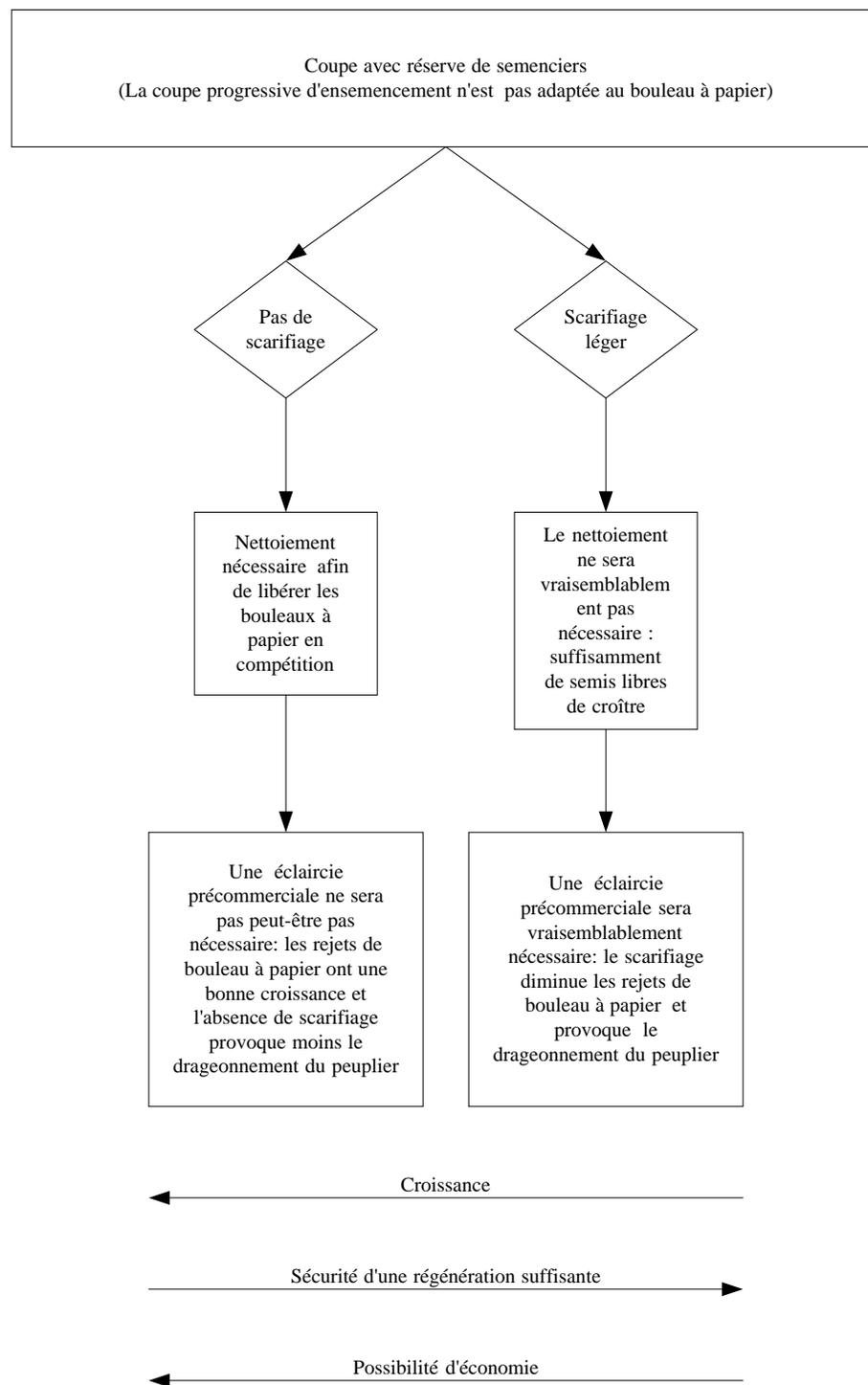


Figure 13 : Diagramme de synthèse de l'interprétation des résultats.

---

**Références citées**

- Bjorkbom, J. C. 1972. Stand changes in the first ten years after seed preparation for paper birch. USDA Forest Service. Northeastern Forest Experiment Station. Research paper NE-238. 10 p.
- Densmore, R. V. et J. C. Page. 1992. Paper birch regeneration on scarified logged areas in Southcentral Alaska. *North. J. Appl. For.* 9(2): 63-66.
- Greene, D. F. and E. A. Johnson 1995. Long distance dispersal of tree seeds. *Can. J. Bot.* 73:1036-1045.
- Greene, D. F. and E. A. Johnson 1997. Secondary dispersal of seeds on snow. *J. Ecol.* 85:329-340.
- Haeussler, S. et D. Coates. 1986. Autoecological characteristics of selected species that compete with conifers in British Columbia : a literature review. Land Management Report no 33. Ministry of Forests, British Columbia. 180 p.
- Houle, G. et S. Payette. 1991. Seed dynamics of *Abies balsamea* and *Acer saccharum* in a deciduous forest of Northeastern North America. *Am. J. Bot.* 78(7): 895-905.
- Jobidon, R. 1995. Autécologie de quelques espèces de compétition d'importance pour la régénération forestière au Québec. Revue de littérature. Ministère des Ressources Naturelles, Québec. Mémoire de recherches forestières no 117. 180 pp.
- LaBonte, G. A. et R. J. Leso. 1990. Cleaning and weeding paper birch-aspen stand in Maine : a 34-year case history. *North. J. Appl. For.* 7(1): 22-23.
- Labonte, G. A. et W. N. Robley. 1978. Cleaning and weeding of paper birch - a 34 year case history. *Journal of Forestry* 76: 223-225.
- Marquis, D. A. 1969. Silvicultural requirements for natural regeneration of birch. Pages 40-49 in *Proceedings of the Birch symposium*. Larson, E. H. (editor). USDA Forest Service. Northeastern Forest Experiment Station, Upper Darby, P.A.
- Nolet, P., F. Doyon et M. Beaudet. 2000. Effets du jardinage avec trouées et du scarifiage sur la régénération des essences commerciales dans des peuplements de feuillus

- tolérants avec pin blanc. Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue. 29 p.
- Perala, D. A. et A. A. Alm. 1989. Regenerating paper birch in the Lake States with the shelterwood method. *North. J. Appl. For.* 6:151-153.
- Perala, D. A. et A. A. Alm. 1990a. Regeneration Silviculture of birch: A review. *For. Ecol. and Manage.* 32: 39-77.
- Perala, D. A. et A. A. Alm. 1990b. Reproductive ecology of birch : a review. *For. Ecol. and Manage.* 32: 1-38.
- Petersen, R. G. 1985. Design and analysis of experiments. *Statistics: Textbooks and monographs* Vol. 66, Owen, D. B. ed.. Marcel Dekker Inc., New York. 429 pp.
- Pin, D. et P. Meek 1997. La régénération du bouleau à apier sous différentes intensités lumineuses avec et sans scarifiage. Rapport Volet I.
- Quentin, B. 1994. Expérimentation de divers traitements sous couvert pour favoriser la régénération d'essences désirées en peuplements feuillus et mélangés, dégradés à base d'érables et de bouleaux jaunes. Essais, expérimentations et transfert technologique en foresterie. Service Canadien des Forêts. Projet no 1019. 39 p.
- Safford, L. O. 1983. Silvicultural guide for paper birch in the Northeast (rev. ed.). USDA Forest Service. Northeastern Forest Experiment Station. Research paper no NE-535. 29 p.
- Safford, L. O., J. C. Bjorkbom et J. C. Zasada. 1990. *Betula papyrifera* Marsh. Silvics of North America, vol. 2: Hardwoods. USDA Forest Service, Washington DC.
- Zasada, J. C., K. Van Cleve, R. A. Werner, J. A. McQueen et E. Nyland. 1977. Forest biology and management in high-altitude North American forests. *Pages* 137-195 *in* North American Forest lands at Latitudes north of 60 Degrees, Proceedings of a symposium, University of Alaska, Fairbanks, 19-22 September.

## **Annexes**

**Annexe 1****Modèle split-split-plot complet****STOCKING = SCAR (COMPÉTITION ( HAUTEUR))**

Source	DL	$\Sigma$ carrés	Moy. des carrés	F	Pr > F
Modèle	53	65084	1228.005	10.79	0.0001
Erreur	90	10244	113.827		
Erreur tot. corrigée	143	75329			

R <sup>2</sup>	C.V.	Erreur-type	Moyenne
0.864	51.898	10.669	20.558

Source	DF	Type III $\Sigma$ C	Moy.Carrés	F	Pr>F
BLOC	5	4148.0	829.6	7.29	0.0001
SCAR(A)	1	18480.1	18480.1	70.67	0.0004
Error(A)	5	1307.4	261.5		
COMPET(B)	2	22583.7	11291.8	76.85	0.0001
COMPET*SCAR(A*B)	2	6035.4	3017.7	20.54	0.0001
Error(A;A*B)	20	2938.7	146.9		
HAUTEUR(C)	3	1580.4	526.8	4.63	0.0047
HAUTEUR*SCAR(A*C)	3	2352.5	784.2	6.89	0.0003
COMPET*HAUTEUR(B*C)	6	2862.5	477.1	4.19	0.0009
COMPET*HAUTEUR*SCAR(A*B*C)	6	2795.5	466.0	4.09	0.0011
Error (C;A*C;B*C;A*B*C)	90	10244.4	113.8		

Tous les termes d'interaction étant significatifs, les analyses suivantes portent sur l'effet combiné de la scarification et de la position par rapport à la compétition, par classe de hauteur des semis de bouleau à papier.

**Annexe 2****Modèle split-plot pour la classe de hauteur des semis de 0-10 cm**  
**STOCKING = SCAR (COMPÉTITION)**

Source	DL	$\Sigma$ carrés	Moy. des carrés	F	Pr > F
Modèle	15	23003	1534	8.32	0.0001
Erreur	20	3685	184		
Erreur tot. corrigée	35	26688			

R <sup>2</sup>	C.V.	Erreur-type	Moyenne
0.86	82.5	13.6	16.5

Source	DF	Type III $\Sigma$ C	Moy.Carrés	F	Pr>F
BLOC	5	3068.8	613.8	3.33	0.0238
SCAR(A)	1	6561.0	6561.0	16.72	0.0095
Error(A)	5	1962.1	392.4		
COMPET(B)	2	7346.7	3673.3	19.94	0.0001
COMPET*SCAR(A*B)	2	4064.8	2032.4	11.03	0.0006
Error(A;A*B)	20	3684.8	184.2		

**Annexe 2 (suite)****Modèle split-plot pour la classe de hauteur des semis de 11-30 cm**  
**STOCKING = SCAR (COMPÉTITION)**

Source	DL	$\Sigma$ carrés	Moy. des carrés	F	Pr > F
Modèle	15	19308	1287	14.46	0.0001
Erreur	20	1780	89		
Erreur tot. corrigée	35	21088			

R <sup>2</sup>	C.V.	Erreur-type	Moyenne
0.92	51.6	9.4	18.3

Source	DF	Type III $\Sigma$ C	Moy.Carrés	F	Pr>F
BLOC	5	990.3	198.1	2.23	0.0918
SCAR(A)	1	7700.1	7700.1	61.88	0.0005
Error(A)	5	622.2	124.4		
COMPET(B)	2	6656.3	3328.2	37.39	0.0001
COMPET*SCAR(A*B)	2	3339.2	1669.6	18.76	0.0001
Error(A;A*B)	20	1780.0	89.0		

**Annexe 2 (suite)****Modèle split-plot pour la classe de hauteur des semis de 31-100 cm**  
**STOCKING = SCAR (COMPÉTITION)**

Source	DL	$\Sigma$ carrés	Moy. des carrés	F	Pr > F
Modèle	15	16816	1121	13.76	0.0001
Erreur	20	1630	81		
Erreur tot. corrigée	35	18446			

R <sup>2</sup>	C.V.	Erreur-type	Moyenne
0.91	39.6	9.0	22.8

Source	DF	Type III $\Sigma$ C	Moy.Carrés	F	Pr>F
BLOC	5	826.23	165.3	2.03	0.1181
SCAR(A)	1	5867.6	5867.6	98.34	0.0002
Error(A)	5	298.3	59.7		
COMPET(B)	2	8479.0	4239.5	52.03	0.0001
COMPET*SCAR(A*B)	2	1345.1	672.6	8.25	0.0024
Error(A;A*B)	20	629.5	81.5		

**Annexe 2 (suite)****Modèle split-plot pour la classe de hauteur des semis de > 100 cm**  
**STOCKING = SCAR (COMPÉTITION)**

Source	DL	$\Sigma$ carrés	Moy. des carrés	F	Pr > F
Modèle	15	5862	391	4.69	0.0008
Erreur	20	1665	83		
Erreur tot. corrigée	35	7526			

R <sup>2</sup>	C.V.	Erreur-type	Moyenne
0.78	37.0	9.1	24.7

Source	DF	Type III $\Sigma$ C	Moy.Carrés	F	Pr>F
BLOC	5	1399.8	280.0	3.36	0.0229
SCAR(A)	1	704.0	704.0	4.95	0.0767
Error(A)	5	711.7	142.3		
COMPET(B)	2	2964.2	1482.01	17.81	0.0001
COMPET*SCAR(A*B)	2	81.8	40.9	0.49	0.6190
Error(A;A*B)	20	1664.7	83.2		

**Annexe 3****Modèle split-plot pour l'origine du semis**  
**STOCKING = SCAR (ORIGINE DU SEMIS)**

Source	DL	$\Sigma$ carrés	Moy. des carrés	F	Pr > F
Modèle	13	30928.58	2379.1	272.83	0.0001
Erreur	10	87.20	8.7		
Erreur tot. corrigée	23	31015.78			

R <sup>2</sup>	C.V.	Erreur-type	Moyenne
0.997	7.67	2.95	38.5

Source	DF	TypeIII $\Sigma$ C	Moy.Carrés	F	Pr>F
BLOC	5	158.63	31.7	3.64	0.039
SCAR(A)	1	2900.26	2900.3	275.9	0.0001
BLOC(SCARFIAG)	5	52.56	10.5	1.21	0.3734
ORIGINE	1	23295.84	23295.8	2671.49	0.0001
SCARFIAG*ORIGINE	1	4521.29	4521.3	518.49	0.0001

**Annexe 4****Relation quadratique entre le stocking et la surface terrière résiduelle pour les sites non-scarifiés****Stocking = Surface terrière résiduelle (classes)**

## Analyse de Variance

Source	DL	$\Sigma$ carrés	Moy. des carrés	F	Pr > F
Modèle	2	1232.0	616.0	38.311	0.0073
Erreur	3	48.2	16.1		
Erreur tot. corrigée	5	1280.2			
$R^2$	C.V.	Erreur-type	Moyenne		
0.96	8.02	4.01	49.97		
Variables	DF	Estimé	Erreur	Paramètre=0	Pr> T
INTERCEP	1	74.576	3.286	22.694	0.0002
X	1	-8.859	1.252	-7.078	0.0058
X2	1	0.469	0.089	5.291	0.0132

**Annexe 4 (suite)****Relation quadratique entre le stocking et la surface terrière résiduelle pour les sites scarifiés****Stocking = Surface terrière résiduelle (classes)**

## Analyse de Variance

Source	DL	$\Sigma$ carrés	Moy. des carrés	F	Pr > F
Modèle	2	17.5	8.7	1.457	0.3614
Erreur	3	18.0	6.0		
Erreur tot. corrigée	5	35.5			

R <sup>2</sup>	C.V.	Erreur-type	Moyenne
0.49	2.56	2.45	95.6

Variables	DF	Estimé	Erreur	Paramètre=0	Pr> T
INTERCEP	1	95.9	2.0	47.773	0.0001
X	1	-0.7	0.8	-0.923	0.4239
X2	1	0.1	0.1	1.298	0.2849

**Annexe 5****Modèle split-plot pour le bouleau jaune**  
**STOCKING = SCAR (HAUTEUR DU SEMIS)**

Source	DL	$\Sigma$ carrés	Moy. des carrés	F	Pr > F
Modèle	17	3711.15	218.30	14.44	0.0001
Erreur	30	453.64	15.12		
Erreur tot. corrigée	47	4164.79			

R <sup>2</sup>	C.V.	Erreur-type	Moyenne
0.89	78.07	3.89	4.98

Source	DF	Type III $\Sigma$ C	Moy. Carrés	F	Pr > F
BLOC	5	2295.74	459.15	30.36	0.0001
SCAR	1	376.88	376.88	2.44	0.1787
BLOC(SCARFIAG)	5	771.02	154.20	10.2	0.0001
HAUT	3	143.41	47.80	3.16	0.0389
SCARFIAG* HAUT	3	124.10	41.37	2.74	0.061

**Modèle split-plot pour l'épinette blanche**  
**STOCKING = SCAR (HAUTEUR DU SEMIS)**

Source	DL	$\Sigma$ carrés	Moy. des carrés	F	Pr > F
Modèle	17	3495.70	205.63	4.44	0.0002
Erreur	30	1390.28	46.34		
Erreur tot. corrigée	47	4885.98			

R <sup>2</sup>	C.V.	Erreur-type	Moyenne
0.72	126.80	6.81	5.37

Source	DF	Type III $\Sigma$ C	Moy. Carrés	F	Pr > F
BLOC	5	1146.02	229.20	4.95	0.002
SCAR	1	396.18	396.18	5.03	0.0749
BLOC(SCARFIAG)	5	393.61	78.72	1.7	0.1654
HAUT	3	856.48	285.49	6.16	0.0022
SCARFIAG* HAUT	3	703.41	234.47	5.06	0.0059

**Annexe 5 (suite)****Modèle split-plot pour l'érable rouge****STOCKING = SCAR (HAUTEUR DU SEMIS)**

Source	DL	$\Sigma$ carrés	Moy. des carrés	F	Pr > F
Modèle	17	7030.76	413.57	5.21	0.0001
Erreur	30	2380.15	79.34		
Erreur tot. corrigée	47	9410.91			

R <sup>2</sup>	C.V.	Erreur-type	Moyenne
0.75	60.49	8.91	14.73

Source	DF	Type III $\Sigma$ C	Moy. Carrés	F	Pr > F
BLOC	5	2707.58	541.52	6.83	0.0002
SCAR	1	240.31	240.31	21.77	0.0055
BLOC(SCARFIAG)	5	55.19	11.04	0.14	0.9818
HAUT	3	392.55	130.85	1.65	0.199
SCARFIAG* HAUT	3	3635.13	1211.71	15.27	0.0001

**Modèle split-plot pour le peuplier faux-tremble****STOCKING = SCAR (HAUTEUR DU SEMIS)**

Source	DL	$\Sigma$ carrés	Moy. des carrés	F	Pr > F
Modèle	17	1749.36	1279.37	8.52	0.0001
Erreur	30	4503.52	150.12		
Erreur tot. corrigée	47	26252.88			

R <sup>2</sup>	C.V.	Erreur-type	Moyenne
0.83	50.69	12.25	24.17

Source	DF	Type III $\Sigma$ C	Moy. Carrés	F	Pr > F
BLOC	5	695.62	139.12	0.93	0.4775
SCAR	1	3275.26	3275.26	5.64	0.0636
BLOC(SCARFIAG)	5	2905.50	581.10	3.87	0.008
HAUT	3	13639.69	4546.56	30.29	0.0001
SCARFIAG* HAUT	3	1233.29	411.10	2.74	0.0608

**Annexe 5 (suite)****Modèle split-plot pour le sapin baumier****STOCKING = SCAR (HAUTEUR DU SEMIS)**

Source	DL	$\Sigma$ carrés	Moy. des carrés	F	Pr > F
Modèle	17	18267.90	1074.58	8.11	0.0001
Erreur	30	3973.24	132.44		
Erreur tot. corrigée	47	22241.14			

R <sup>2</sup>	C.V.	Erreur-type	Moyenne
0.82	60.92	11.51	18.89

Source	DF	Type III $\Sigma$ C	Moy.Carrés	F	Pr>F
BLOC	5	11958.77	2391.75	18.06	0.0001
SCAR	1	2326.87	2326.87	11.71	0.0188
BLOC(SCARFIAG)	5	993.35	198.67	1.5	0.2194
HAUT	3	880.25	293.42	2.22	0.1068
SCARFIAG* HAUT	3	2108.66	702.89	5.31	0.0047