



ÉTABLISSEMENT, CROISSANCE ET SURVIE DU BOULEAU BLANC ET DE L'ÉPINETTE BLANCHE APRES L'APPLICATION DE TRAITEMENTS DE SCARIFIAGE PAR POQUETS

Rapport Final
préparé pour

Stéphane Nolet



et



Ministère des Ressources naturelles et de la Faune
Direction régionale de la Mauricie

Avril 2010



Institut québécois d'aménagement
de la Forêt feuillue

Équipe de réalisation de l'IQAFF*

Coordonnateurs scientifiques :

Sylvain Delagrange, Ph.D.
Philippe Nolet, M.Sc.

Équipe technique :

Pascal Rochon, M.Sc.
Éric Forget, M.Sc. Ing. f.
Régis Pouliot

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

Pour citation :

Delagrange S. et Nolet P. 2010. Établissement, croissance et survie du bouleau blanc et de l'épinette blanche après l'application de traitements de scarifiage par poquets. Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue, Ripon, Québec. Rapport final, 36 p + annexes

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier spécialement Stéphane Nolet (Produits Forestier RBF pour les industries John Lewis Ltée.) pour son aide technique, logistique et professionnel apporté tout au long de ce projet. Nous tenons également à souligner le travail précieux de Régis Pouliot, Pascal Rochon, Eric Forget et Julie Poirier lors de la réalisation des travaux d'inventaire. Enfin, la concrétisation de ce projet de recherche a été rendue possible grâce à l'appui financier du Programme de Mise en Valeur des Ressources du Milieu forestier (Volet I) du ministère des Ressources naturelles et de la Faune (Direction régionale de la Mauricie).

Table des Matières

ÉQUIPE DE REALISATION DE L'IQAFF*	1
REMERCIEMENTS.....	2
TABLE DES MATIERES.....	3
I. INTRODUCTION	4
II. METHODOLOGIE	6
II.1. ZONE D'ETUDE	6
II.2. SELECTION DES SITES INVENTORIES	7
II.3. SELECTION DES POQUETS ET DES INDIVIDUS.....	7
II.4. VARIABLES MESUREES.....	8
II.4.a. <i>Le stocking et la survie</i>	8
II.4.b. <i>La croissance et la vigueur</i>	8
II.4.c. <i>L'environnement lumineux et compétitif</i>	8
II.6. ANALYSES STATISTIQUES	10
III. RESULTATS ET DISCUSSION.....	11
III.1. PORTRAIT DES DEUX SITES	11
III.2.a. <i>Le site 1</i>	11
III.1.b <i>Le site 2</i>	13
III.1.c. <i>Comparaison des sites</i>	15
III.2. LE BOULEAU A PAPIER (BOP).....	17
III.2.a. <i>Le stocking et la survie du BOP</i>	17
III.2.b. <i>Vigueur et croissance du BOP</i>	18
III.2.c. <i>L'environnement lumineux et compétitif du BOP</i>	22
III.3. L'EPINETTE BLANCHE (EPB).....	24
III.3.a. <i>Le stocking et la survie de l'EPB</i>	24
III.3.b <i>Vigueur et croissance de l'EPB</i>	25
III.3.c. <i>L'environnement lumineux et compétitif de l'EPB</i>	29
IV. CONCLUSIONS	31
RÉFÉRENCES	33
ANNEXES.....	36

I. Introduction

Dans la zone de la sapinière à bouleau blanc, certaines essences à intérêts économiques importants, telles que le bouleau blanc (BOP) et l'épinette blanche (EPB), nécessitent des conditions très particulières pour leur régénération. En effet, des facteurs, tels que la disponibilité en semenciers, le lit de germination et le type de végétation concurrente sont reconnus comme primordiaux pour l'établissement et la croissance initiale de ces espèces peu tolérantes à l'ombre (Nienstaedt and Zasada 1990; Doyon et al. 2001). Ainsi, à la fin des années 1990, une nouvelle technique (le scarifiage par poquet) a été mise en place pour favoriser l'établissement de ces espèces. Le scarifiage du sol est reconnu pour être un traitement très efficace pour l'établissement d'espèces peu tolérantes à l'ombre et à petites graines (Erdmann 1990; Perala and Alm 1990; Bouffard and Nolet 2003). En effet, l'un des principaux effets de l'application de ce traitement est la création de lits de germination à base de substrat minéral (Nolet and Poirier 2001), qui sont généralement nécessaires à l'établissement de ces espèces. De plus, ce traitement permet également le retrait de la compétition préétablie qui est reconnue pour intercepter une grande proportion de la lumière disponible pour la régénération (Aubin et al. 2000). Cependant, il a déjà été montré chez le bouleau jaune que la croissance des individus établis dans le poquet était inférieure à celle des individus établis en bordure du poquet (Morin et al. 2003). Cela s'expliquerait par une plus faible compétition intra- et interspécifique autour du poquet comparativement à l'intérieur du poquet.

D'après des observations préliminaires du MRNF, la technique de scarifiage par poquet dans la région de la sapinière à bouleau blanc semble tout à fait appropriée pour l'amélioration de l'établissement (germination et survie initiale) des deux espèces. Pour la croissance juvénile et la survie de la régénération installée, les constats sont moins clairs. Pour le BOP, la croissance dans les premières années semble favorisée par l'absence de compétition autour des semis. Toutefois, lorsque la compétition autour du poquet est dominée par le peuplier, il a déjà été suggéré que les semis de bouleau blanc pourraient nécessiter la réalisation d'un traitement d'éclaircie précommerciale (Doyon et al. 2001). Pour ce qui est de l'EPB, la croissance des semis semble très lente dans les premières années de telle sorte que l'on ignore si ceux-ci pourront survivre à la compétition présente dans les poquets. Il n'est donc pas exclu qu'il pourrait être nécessaire de coupler l'installation de poquets à un enrichissement en EPB pour assurer une régénération de cette espèce.

L'objectif principal de cette étude est donc d'évaluer, dans la zone de la sapinière à bouleau blanc, l'effet de la création de poquets sur la régénération en BOP et en EPB à moyen terme, tout en offrant la possibilité d'un suivi à plus long terme. Plus précisément, les objectifs spécifiques sont :

- i) d'évaluer l'efficacité de la technique de scarifiage par poquet sur l'établissement du BOP et de l'EPB en dressant un portrait du stocking (établissement) des deux espèces.

- ii) de suivre l'évolution de l'environnement de compétition et de la vigueur des semis de BOP et d'EPB (à l'échelle de l'individu) en évaluant la survie et les indices de vigueur pendant la durée de l'étude tout en caractérisant, en parallèle, l'évolution de l'environnement de compétition.

- iii) de relier la croissance et la survie des deux espèces avec l'environnement (lumineux et compétitif) créé par le traitement de scarifiage par poquet.

Les livrables de cette étude étaient i) le suivi du dispositif (mortalité, vigueur et croissance) de la régénération de BOP et d'EPB après création de poquet et ii) la caractérisation de l'environnement compétitif et lumineux dans les deux sites sélectionnés. Le présent rapport comprend donc une méthodologie descriptive où l'on expose les caractéristiques du territoire de l'étude, le type de dispositif expérimental utilisé, la procédure d'implantation de celui-ci sur le terrain ainsi que les résultats découlant des 3 années de suivi de ces paramètres.

II. Méthodologie

II.1. Zone d'étude

La présente étude a été réalisée dans l'aire commune 042-02 appartenant à l'unité d'aménagement forestier 042-51 de la région administrative de la Mauricie (Figure 1). Les deux peuplements sélectionnés, localisés respectivement à 170 et 260 km à vol d'oiseau au nord de Québec et Montréal, se retrouvent dans l'unité du paysage régionale « Lac Blanc ». Cette unité correspond à la portion médiane du bassin versant de la rivière Saint-Maurice (Robitaille and Saucier 1998). Elle est comprise dans le domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau jaune. Elle est caractérisée au niveau du dépôt par la présence abondante d'un till indifférencié épais associé au relief, ainsi que par un till plus mince sur les versants avec des pentes modérées à fortes et par des affleurements rocheux et des épandages fluvioglaciaires respectivement sur les sommets et dans les larges vallées.

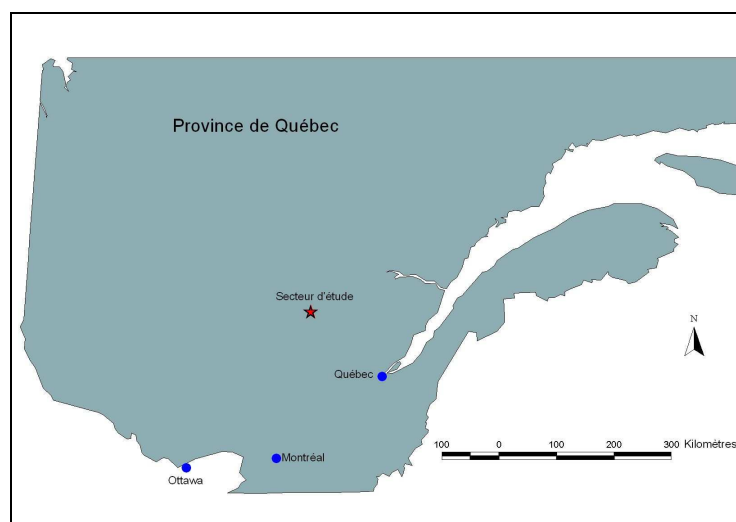


Figure 1. Localisation au Québec du dispositif expérimental.

Le relief, légèrement accidenté avec une altitude moyenne de 367 m, est formé de collines aux versants en pentes faibles et modérées où le substrat rocheux est de nature cristalline (Robitaille and Saucier 1998). La température et les précipitations annuelles moyennes observées dans cette unité de paysage sont respectivement de 2.5 °C et 900 à 1000 mm (avec 25 % sous forme de neige), alors que la longueur de la saison de croissance se situe entre 160 et 170 jours. Selon Robitaille & Saucier (1998). Bien que la végétation potentielle des sites mésiques soit la bétulaie jaune à sapin, la sapinière à bouleau blanc et à érable à épis est la plus présente en ces lieux. Enfin, la pessière noire à mousse occupe les sites bien drainés, tandis que la sapinière à érable rouge et la sapinière à épinette noire colonisent les endroits moins bien drainés.

II.2. Sélection des sites inventoriés

Au début de l'été 2007, différents parterres de coupe ayant été traités avec un scarifiage du sol par poquet ont été visités au nord de La Tuque (Figure 1). Parmi ceux-ci, deux ont été sélectionnés en fonction de leurs caractéristiques avant coupe (Tableau 1). En effet, le choix de ces deux sites repose sur leur similitude vis-à-vis de leurs caractéristiques topographiques, mais également sur leurs différences de structure et de composition (Tableau 1). Ainsi, il va être possible d'étudier le stocking et l'évolution de la croissance et de la compétition en fonction de deux systèmes distincts ; l'un provenant d'un peuplement jeune avec une forte proportion de feuillus (Site 1) et l'autre provenant d'un peuplement plus âgé comportant une proportion importante de conifères (Site 2). On notera que la réalisation des poquets a été faite en 2002-03 pour le Site 1 et 2003-04 pour le Site 2.

Tableau 1 Caractéristiques avant coupe des deux sites sélectionnés.

Site	Caractéristiques avant coupe										Topographie		
	Groupe d'essences	Âge	Densité	Hauteur	Ep*	Sab*	Bop*	Peu*	Boj*	Err*	Pib*	Pente	Dépôt
1	M BbPeS	50	C	3	21	28	22	14	11	4	0	C	1AY
2	M RFi	90	D	2	31	10	13	0	0	0	10	C	1AY

* : Proportion (%) calculée à partir du volume mesuré sur le terrain

II.3. Sélection des poquets et des individus

Dans un premier temps, à l'intérieur de chaque site, les poquets ont été visités en suivant une série de transects perpendiculaires. Dans le Site 1, 45 poquets ont été retenus pour suivre 40 individus de BOP et 40 individus d'EPB. Dans le second site, 41 poquets ont été sélectionnés pour suivre le même nombre de BOP et d'EPB. A l'intérieur des poquets, l'individu suivi pour chacune des 2 essences a été choisi comme celui présentant la meilleure vigueur parmi ceux de leur espèce. La position (distance et azimuth) de ces individus a été relevée par rapport au centre du poquet (identifié par une tige métallique) afin de faciliter leur remesure dans les années à venir.

II.4. Variables mesurées

II.4.a. Le stocking et la survie

Dans un premier temps, à l'intérieur de chaque site, les poquets ont été visités en suivant une série de transects perpendiculaires. Le stocking en BOP et en EPB a alors été calculé comme le pourcentage de poquets ayant la présence d'au moins 1 individu de ces espèces. Pour la deuxième phase de l'étude visant à étudier la survie, la croissance, la vigueur et l'environnement des individus des 2 espèces suivies, un sous-échantillonnage a été réalisé. Ainsi, dans le Site 1, 45 poquets ont été retenus pour suivre 40 individus de BOP et 40 individus d'EPB. Dans le second site, 41 poquets ont été sélectionnés pour suivre le même nombre de BOP et d'EPB. A l'intérieur des poquets, l'individu suivi pour chacune des 2 essences a été choisi comme celui présentant la meilleure chance de survie parmi ceux de leur espèce. La position (distance et azimuth) de ces individus a été relevée par rapport au centre du poquet (identifié par une tige métallique) afin de faciliter leur remesure dans les années à venir.

II.4.b. La croissance et la vigueur

La hauteur et le diamètre à 10 cm des plants ainsi que la longueur et la largeur de la cime vivante (moyenne du diamètre le plus large ainsi que du diamètre perpendiculaire) ont été évalués sur chaque individu des deux espèces.

II.4.c. L'environnement lumineux et compétitif

Ensuite, une mesure de lumière (photo hémisphérique) a été prise au sommet de la tige des individus de BOP et d'EPB sélectionnés. Pour mieux caractériser l'environnement lumineux disponible pour les semis, un profil vertical de lumière a été réalisé au centre de 10 poquets dans chacun des 2 sites. Dans les deux sites, les poquets ont été choisis aléatoirement. La détermination du profil s'est faite par 5 mesures de lumière (photo hémisphérique) à des hauteurs fixes (4, 3, 2, 1 et 0.4 m) du sol. Les photos ont été prises à l'horizontal grâce à la fixation d'un niveau à bulle sur la barre télescopique.



Figure 2. Séquence de traitement des photographies hémisphériques. A. image originale, B. image en noir et blanc contrastée et C. image traitée dans GLA (gap light analyser Frazer et al. (1999)) pour le calcul de la lumière transmise.

L'analyse des photographies hémisphériques a été faite en deux temps. Premièrement, les photos ont été traitées à l'aide d'un logiciel de traitement d'image (Photoshop 7.0, Adobe) pour transformer les images en couleur en image en noir et blanc. Dans ces images, le noir correspond aux obstacles à la lumière (feuilles, tiges, branches) et le blanc correspond aux zones de ciel d'où provient la lumière directe et diffuse (Figure 2). Dans un second temps, les images en noir et blanc ont été traitées dans un logiciel de calcul de transmission des radiations (Gap Light Analyser, GLA, Frazer et al. (1999)). Grâce à ce logiciel, il a été possible de calculer la fraction de lumière directe et diffuse reçue par les individus suivis et cela, pour chaque section du ciel divisé comme indiqué dans la figure 2C. Ce calcul se base sur le fait que chaque section se trouve dans une zone de lumière diffuse ou de lumière directe (Figure 3). La sommation de chaque secteur du ciel permet ensuite d'obtenir le pourcentage de lumière (directe + diffuse) transmise comparativement à une image théorique qui n'aurait aucun obstacle pour la lumière diffuse et la lumière directe.

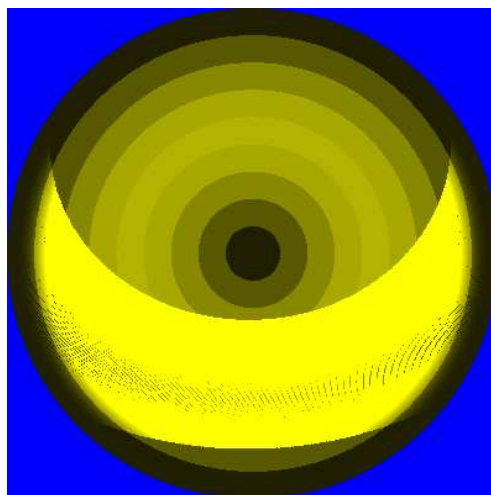


Figure 3. Définition des zones de pour la transmission de la lumière diffuse (anneaux concentriques) et des zones de lumière directe (course du passage du soleil – bande jaune clair).

Finalement, la compétition (hauteur moyenne et essences dominantes) a été caractérisée à l'intérieur du poquet ainsi que dans une zone (beigne) de 2 m autour du poquet.

II.6. Analyses statistiques

L'ensemble des analyses statistiques préliminaires a été réalisé à l'aide du logiciel NCSS (Hintze 2004). Les deux essences ont été analysées séparément. Les comparaisons entre les deux sites pour les variables de croissance, de vigueur et de compétition, ont été exclusivement faites par analyse de variance (ANOVA) à un facteur principal (le Site). Le niveau de la signification statistique des différences a été établi à 5% ($\alpha = 0.05$).

Il est important de noter que les individus suivis de BOP et d'EPB dans les analyses présentées ci-après sont les plus grands individus de leur espèce trouvés dans chaque poquet visité (excepté pour les analyses de stocking où aucune distinction n'a été faite sur la taille des individus).

III. Résultats et discussion

III.1. Portrait des deux sites

n.b. Il est nécessaire de souligner une fois de plus que les 2 sites n'ont pas été scarifiés la même année. Ceci est important dans l'ensemble des analyses puisqu'à ce stade juvénile, la taille, les taux de croissance et l'évolution générale des cohortes en régénération changent de façon importante d'une année à l'autre. Par conséquent, les mesures absolues, telles que la hauteur, le diamètre ou la disponibilité en lumière, prises la même année peuvent être variables d'un site à l'autre simplement par cette différence d'année de scarifiage (i.e. de stade de développement). Dans ce contexte, lors de la comparaison de la performance des espèces entre les 2 sites, les analyses seront faites, dans la mesure du possible, en réalisant des ratios qui permettront de prendre en compte la hauteur des individus afin d'en normaliser l'effet. De plus, pour clarifier l'évolution de certains paramètres, la référence au temps sera faite en termes d'année de croissance après scarifiage plutôt que d'année de mesure. Ceci permettra donc de synchroniser les résultats obtenus sur les deux sites.

III.2.a. Le site 1

Environnement compétitif.

En moyenne, la hauteur de la végétation à l'extérieur des poquets du site 1 au cours de l'étude est passée de 2.5 m à 3.2 m, soit un gain moyen de 35 cm par année. Parallèlement, la hauteur de la végétation à l'intérieur des poquets est passée de 0.75 m en 2007 à plus de 2.25 m en 2009, ce qui représente cette fois un gain moyen annuel de 75 cm. Sur ce site, les poquets ont donc représenté un environnement idéal pour la croissance de la végétation qui a connu des taux de croissance 2 fois plus élevés qu'à l'extérieur du poquet.

En ce qui concerne le type de végétation compétitrice, celle-ci a grandement varié entre l'intérieur et l'extérieur des poquets. Dans le Site 1, près de 80% des poquets était entouré par une végétation compétitrice dominée par le CEP alors que seulement 3% de ces poquets était entouré par du BOP dominant (Delagrangé and Nolet 2009). À l'inverse, à l'intérieur des poquets, plus de 80% des poquets avait du BOP comme végétation dominante (Delagrangé and Nolet 2009).

En suivant particulièrement l'évolution (de 2007 à 2009) du type de végétation compétitrice dominant les individus ayant été sélectionnés pour l'étude, une légère modification de la composition à l'avantage du BOP (Figure 4) a été observée. En effet, si la proportion de CEP dominant n'a pas réellement été modifiée

(environ 60% des poquets), il semble que la dominance du BOP se soit affirmée et cela plus particulièrement vis-à-vis des essences AUT (Erables, Saules, Framboisier).

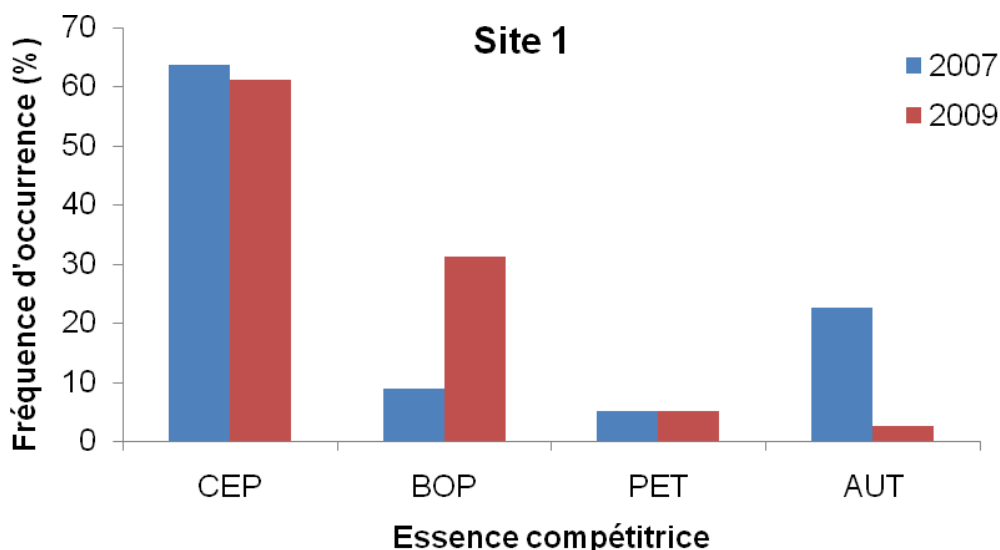


Figure 4. Évolution de la fréquence d'occurrence d'essences compétitrices autour des individus sélectionnés pour l'étude sur le Site 1.

Environnement lumineux général

Sur ce même site, la disponibilité en lumière a été évaluée en 2008 en réalisant un profil vertical de lumière (Tableau 2). On s'aperçoit qu'à partir de la végétation compétitrice dominante (à 2.8 m), la chute de disponibilité est drastique et correspond à une perte de 22% de la lumière totale par mètre. Ainsi entre 3 et 0.3 m, la disponibilité en lumière est passée de 94 à 38% (soit une perte de 56%).

Tableau 2. Profil de lumière vertical sur le site 1 (2008)

	Hauteur (m)	% de lumière	Écart type
Site 1	0.3	38.0	14.7
	1	48.4	19.4
	2	76.1	11.0
	3	93.8	3.4
	4	97.6	1.0

III.1.b Le site 2

Environnement compétitif

En ce qui concerne le site 2, la hauteur moyenne de la végétation à l'extérieur des poquets est passée de 1.6 m en 2007 à 3.6 m en 2009, soit un gain moyen de 100 cm par année, bien supérieur au site 1. La hauteur de la végétation à l'intérieur des poquets est cependant demeurée très similaire au site 1, en passant d'une hauteur moyenne 1.1 m en 2007 à 2.50 m en 2009, ce qui représente un gain moyen annuel de 70 cm. Sur le site 2, même si les poquets ont représenté un environnement favorable à une bonne croissance de la végétation, celle-ci n'a pas surpassé les taux de croissance observés à l'extérieur des poquets.

Ce résultat s'explique en partie au regard de la composition de cette végétation. Sur le site 2, la végétation dominante à l'intérieur a été plus équilibrée entre les essences présentes. Bien que le centre des poquets était fréquemment dominé par le BOP (30% des cas), le PET et le CEP ont représenté entre 20 et 25 % de la dominance intérieure des poquets (Delagrangue and Nolet 2009). De plus, à l'extérieur des poquets, le CEP dominait la végétation (60%), suivi du PET (30%), ce qui a laissé peu de place au BOP qui n'a jamais été évalué comme dominant dans cette position (Delagrangue and Nolet 2009). Ainsi, les forts taux de croissance observés à l'extérieur des poquets, comparativement au site 1, sont probablement attribuables à la présence importante du PET sur ce site. De même, on peut noter que malgré un écart d'un an entre les deux sites (le site 2 ayant été traité 1 an après le site 1), aucun écart de hauteur de végétation à l'intérieur du poquet n'a été observé. Ceci est encore une fois sûrement associable à la présence du PET qui démontre dans ces conditions de très bons taux de croissance (Perala 1990).

Un patron complètement différent a également été observé en regard à l'évolution (de 2007 à 2009) du type de végétation compétitrice dominant les individus ayant été sélectionnés pour l'étude sur ce site. En effet, il a été observé que la dominance du PET s'est maintenue alors qu'une légère augmentation de dominance du CEP au détriment du BOP et des autres essences a eu lieu (Figure 5). D'ailleurs, en 2009, aucun des BOP suivis dans les poquets du site 2 ne possédait la dominance.

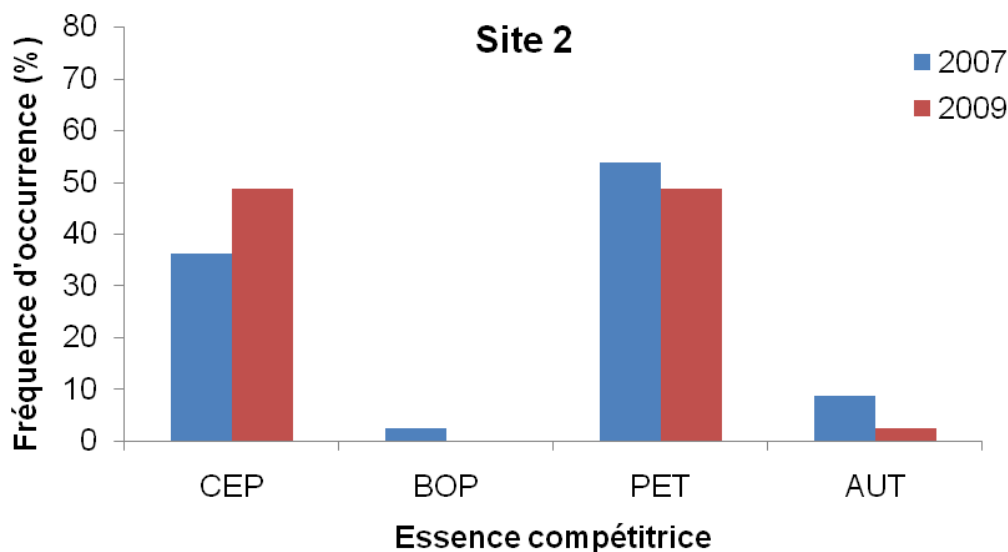


Figure 5. Évolution de la fréquence d'occurrence d'essences compétitrices autour des individus sélectionnés pour l'étude sur le Site 2.

Environnement lumineux

L'environnement lumineux caractérisé par des profils verticaux de disponibilité en lumière (en 2008) a permis de mettre en évidence un profil moyen légèrement différent de celui évalué pour le site 1. D'un côté, la croissance très importante de la végétation compétitrice ainsi que la présence d'une pente moyenne (cf. Delagrangue and Nolet 2009) a amené sur ce site une diminution significative de la disponibilité en lumière dès 3 m (Tableau 3). Cependant, la diminution de la disponibilité en lumière au sein de cette végétation (de 3 à 0.3 m) est moins drastique que sur le site 1 puisqu'elle correspond à une perte de 15% de lumière totale par mètre. Ainsi entre 3 et 0.3 m, la disponibilité en lumière est passée de 86 à 47% (soit une perte de 39%).

Tableau 3. Profil de lumière vertical sur le site 2 (2008)

	Hauteur (m)	% de lumière	Écart type
Site 2	0.3	47.0	18.5
	1	53.2	19.1
	2	68.8	20.4
	3	85.9	9.7
	4	92.1	5.9

III.1.c. Comparaison des sites

En tenant compte du décalage d'un an entre les deux sites, l'évolution de la végétation compétitrice s'avère bien différente entre les 2 sites. D'abord, la quasi absence de PET dans la régénération du site 1 a mis en place une régénération dominée par le CEP mais où le BOP possède une bonne codominance (environ 30% des poquets en 2009, cf. Figure 6). À l'inverse, dans le site 2, l'installation rapide du PET dans près de 50% des poquets a amené à une régénération partagée entre le CEP et le PET où le BOP n'est jamais assez présent pour être identifié comme l'essence dominante (0% en 2009, cf. Figure 6). Ces différences en termes de composition sont primordiales dans la différenciation des 2 sites. En effet, au regard de la croissance de la végétation compétitrice autour des individus sélectionnés pour l'étude, il apparaît clairement que la hauteur de la végétation augmente plus rapidement sur le site 2 que sur le site 1. D'ailleurs, pour les années après scarifiage où l'information est connue pour les 2 sites, une différence significative de la hauteur de cette végétation est observée à l'année 6. Ceci est directement relié à la forte présence sur le site 2 du PET et de ses taux de croissance très élevés (Perala 1990).

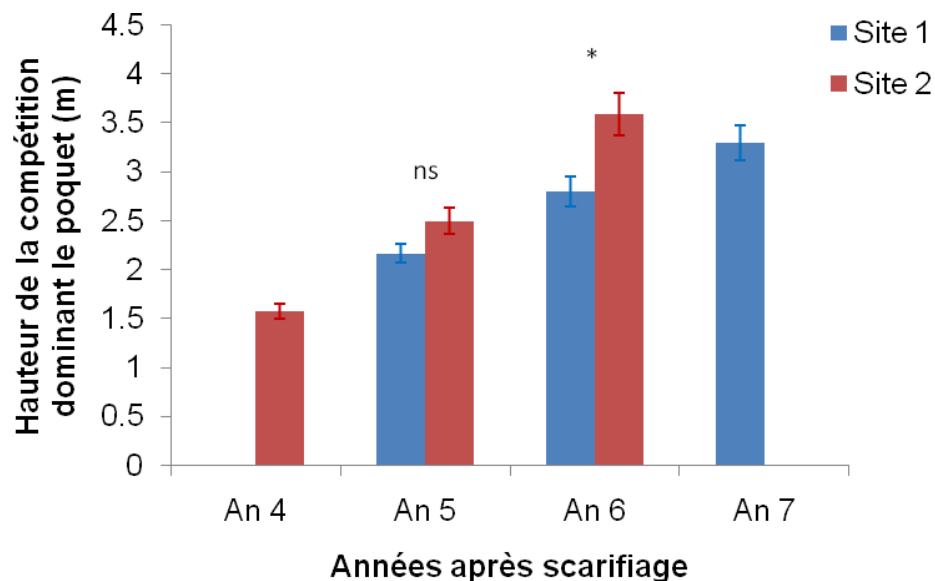


Figure 6. Évolution de la hauteur de la végétation compétitrice autour des individus sélectionnés pour l'étude. Les différences statistiques sont évaluées seulement entre les 2 sites pour une même année. ns : non significatif, * : significatif à $p < 0.05$.

De même, la présence du PET va aussi générer des différences de disponibilité en lumière entre les 2 sites suivant la hauteur dans la régénération. En effet, le PET, en atteignant des hauteurs plus importantes plus rapidement, va capter une partie significative de la lumière disponible dans les hauteurs où se situe sa cime (i.e. 2.5-4 m, cf. Figure 7). De plus, ces profils verticaux de lumière, pris en 2008, ont été réalisés à l'année 6 pour le site 1 et l'année 5 pour le site 2. On pourrait donc s'attendre à ce que ces différences soient encore plus marquées si les 2 sites avaient été au même stade de développement. Cependant, aucune différence significative n'a été observée dans la disponibilité en lumière en dessous de 2 m. Ceci signifierait que malgré que le PET intercepte la lumière plus haut, il laisse passer au travers de sa cime poreuse une proportion de lumière plus importante qu'un couvert de CEP et de BOP, lesquels diminuent plus drastiquement la disponibilité en lumière (Figure 7). Ainsi, la différence de composition en essence de la régénération entre les deux sites amène une différence significative de disponibilité en lumière au sein de la canopée dominante, mais pas en sous-couvert.

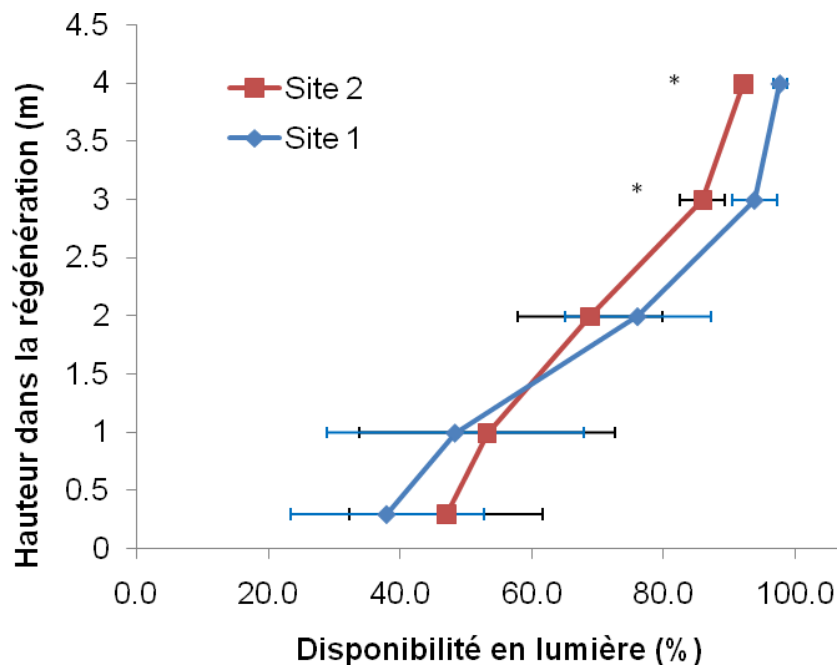


Figure 7. Profils verticaux de disponibilité en lumière en fonction des 2 sites en 2008 (année 6 après scarifiage pour le site 1, année 5 après scarifiage pour le site 2). ns : non significatif, * : significatif à $p < 0.05$.

Les conséquences importantes de la présence ou non de PET dans la régénération des 2 sites, nous amènent à la conclusion que les 2 sites représentent deux systèmes bien distincts où la régénération et l'évolution de l'environnement compétitif et lumineux sont très différentes. Ainsi, pour la suite des analyses, il a été décidé d'ajouter ce critère dans l'identification des 2 sites : Site 1, avec PET dans sa régénération et Site 2, sans PET dans sa régénération.

III.2. Le bouleau à papier (BOP)

III.2.a. Le stocking et la survie du BOP

Le stocking en BOP s'est avéré très bon sur les deux sites d'étude (Delagrange et al. 2008). En effet, pour cette espèce, 100% des poquets visités étaient stockés en semis de cette espèce, et cela, sur les deux sites. Après sélection de l'individu dominant pour chaque poquet, il apparaît, sur le site 1, que 100% de ces individus se sont installés dans la 2^{ème} année après l'application du scarifiage alors que pour le site 2, 87.5% l'ont fait à la 2^{ème} année et 12.5% l'ont fait à la 3^{ème}. Cet établissement assez rapide après la perturbation correspond bien à ce qui a déjà été observé dans la littérature pour cette espèce même si le BOP peut également s'établir dès la 1^{ère} saison de croissance (Fajvan et al. 2008). De même, 92.5% des individus de BOP dominants dans le site 1 se retrouvaient en bordure du poquet, alors que seulement 7.5% se sont installés à l'intérieur du poquet. Dans le site 2, seuls 60% des individus suivis étaient localisés en bordure du poquet alors que 30% se sont établis à l'intérieur. Aujourd'hui, aucun facteur n'a permis de clairement comprendre ces différences dans les patrons d'installation du BOP en fonction des deux sites. Il est suspecté que la présence du PET dans le site 2 pourrait avoir influencé l'installation ou la survie lors des 2 premières années en bordure, amenant à retrouver plus d'individus dominants dans le centre des poquets sur ce site. Cependant, ceci reste à démontrer. Il est à noter également que le BOP s'est bien installé au centre des poquets du site 1 sans PET, mais qu'ils ont rarement été sélectionnés car ils n'étaient pas les dominants de leur espèce. Dans tous les cas, la meilleure croissance a été plus souvent obtenue pour les BOP installés en bordure de poquet là où se crée un bourrelet de substrat contenant un mélange de sol minéral et d'humus. Ce type de lit a d'ailleurs déjà été identifié comme l'un des meilleurs pour la survie et la croissance des essences dépendantes d'une perturbation du sol pour leur établissement (Tubbs and Oberg 1966; Tubbs 1969; Lorenzetti et al. 2008). En effet, le centre des poquets ne produit généralement que des substrats de type sol minéral, ce qui correspond à un très bon lit de germination, mais pas nécessairement au microsite idéal pour la croissance et la survie juvénile (Lorenzetti et al. 2008).

En ce qui concerne la survie, celle-ci a été excellente pour le BOP sur les 2 sites puisqu'aucune mortalité n'a été observée pour cette espèce durant les 3 années de suivi. Donc, 6 et 7 ans après le scarifiage, pour les sites 2 et 1 respectivement, la totalité des individus suivis était encore vivante.

III.2.b. Vigueur et croissance du BOP

La vigueur du BOP est significativement moins bonne sur le site 2 que sur le site 1. Par exemple, au regard du ratio H/D de la tige sur le site 1, celui-ci diminue continuellement avec le développement en taille des arbres ce qui n'est pas le cas pour le site 2 et une différence significative apparaît même entre les 2 sites à l'année 6 (Figure 7, Annexe 2). Une diminution du ratio H/D de la tige est une réponse habituelle d'un individu en santé au cours de son développement en taille (Givnish 1988). Cependant ce ratio peut varier de façon importante entre les individus de même espèce en réponse à leur environnement, ce qui fait de ce paramètre un bon indicateur de la pression de compétition subi par un individu (Ouellet and Zarnovican 1988; Nolet and Forget 2003). Notamment, lorsque ce ratio demeure élevé avec le développement, celui-ci est signe d'une étiolation de la tige, c'est-à-dire du sacrifice de croissance en diamètre au bénéfice de la croissance en hauteur pour tenter de surpasser les compétiteurs. Cependant, cette étiolation, surtout si elle persiste, est souvent associée à une fragilisation de la résistance mécanique de la tige ou de la vigueur de l'individu (Nolet and Forget 2003), mais aussi à une fragilisation face à l'occurrence d'autres stress climatiques (Lorenzetti et al. 2008).

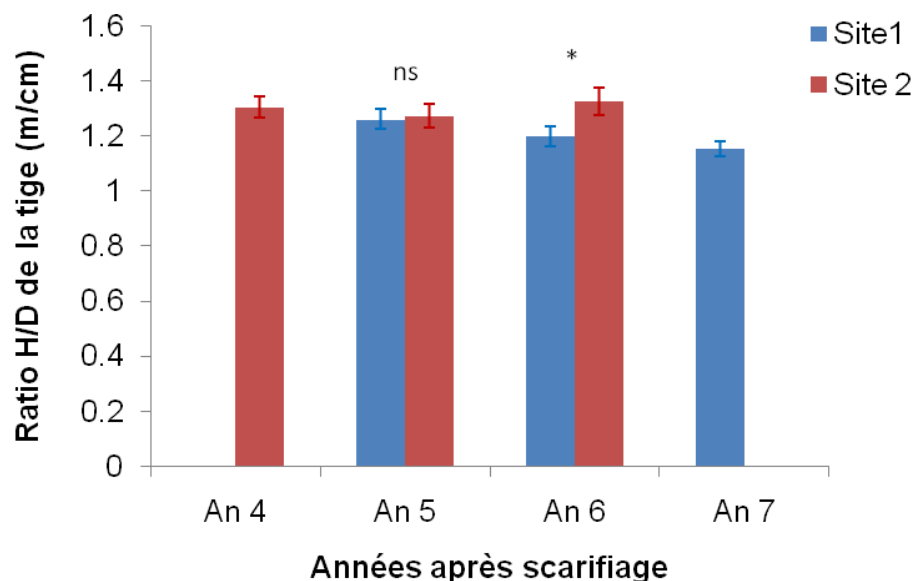


Figure 8. Moyennes du ratio H/D de la tige pour les individus de BOP. Les résultats sont présentés pour les 2 sites (sans PET : Site 1 et avec PET : Site 2) et pour les 3 années de mesures.

Un constat similaire peut être fait au niveau de la proportion de cime vivante. Plus ce pourcentage est élevé, plus il est associable à une bonne vigueur de l'individu, mais celui-ci diminue avec le développement normal des gaulis sous une disponibilité en lumière non limitante (Delagrangé et al. 2004; Claveau et al. 2005). Comme il est illustré dans la Figure 9, la proportion de cime vivante des BOP du site 1 demeure assez élevée et stable, oscillant entre 71 et 75% de la longueur de la tige. Cependant, le patron en diminution de cette même proportion pour les BOP du site 2 amène une différence significative entre les 2 sites pour l'année 6 (Figure 9). On notera également que cette proportion semble en diminution constante pour les BOP du site 2 ce qui laisse supposer que cette perte régulière de vigueur se poursuivra.

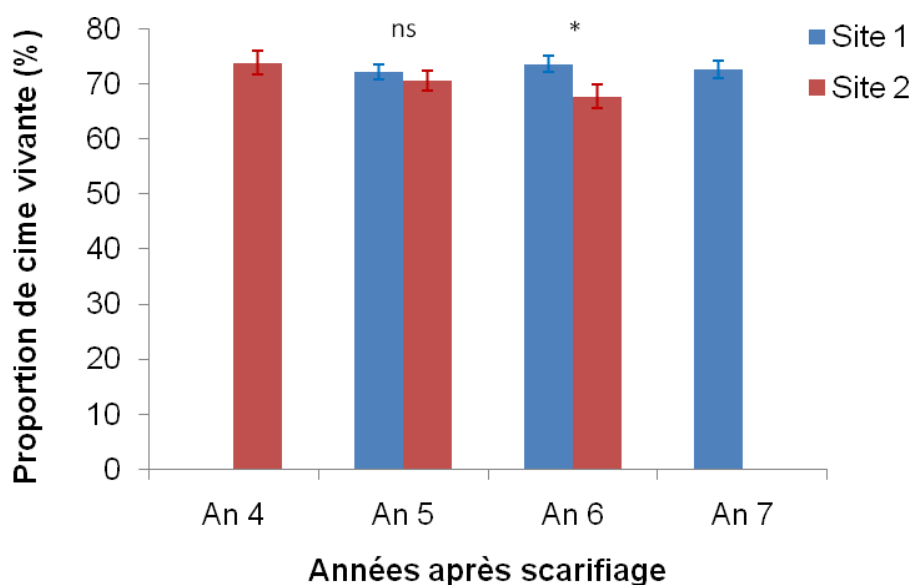


Figure 9. Moyennes de la proportion de cime vivante des individus de BOP. Les résultats sont présentés pour les 2 sites (sans PET : Site 1 et avec PET : Site 2) et pour les 3 années de mesures.

En ce qui concerne le ratio H/D de la cime, qui est également un indicateur de vigueur et de pression de compétition (Delagrangé et al. 2004; Claveau et al. 2005), celui-ci était toujours significativement inférieur pour les BOP du site 2 que pour ceux du site 1 (Figure 10, Annexe 2). Une diminution de ce ratio est généralement associée à une descente de cime due à la mortalité de la pousse terminale ou à une mortalité des branches basses due à un élagage naturel lorsque la disponibilité en lumière diminue. Très peu de mortalité terminale a été observée sur le site 2. En revanche, il a été noté une mortalité de branches basses sur près de 50% des BOP du site 2. D'ailleurs, parmi ce 50%, un tiers des individus ont été notés comme ayant un indice visuel de vigueur faible (tel qu'une descente de cime (n=3), un feuillage jaunissant (n=4) ou la tige brisée (n=2)).

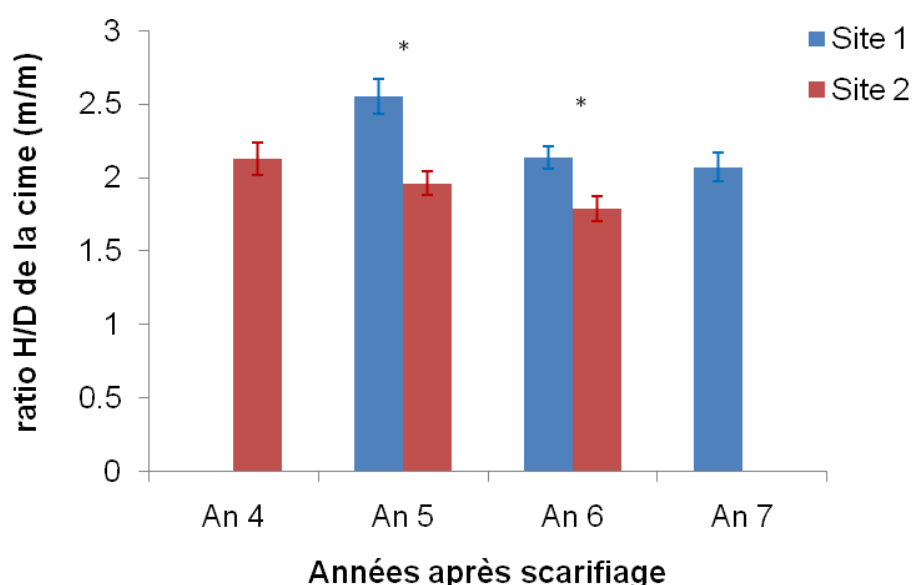


Figure 10. Moyennes du ratio H/D de la cime des individus de BOP. Les résultats sont présentés pour les 2 sites (sans PET : Site 1 et avec PET : Site 2) et pour les 3 années de mesures.

Compte tenu des différences de vigueur observées, la croissance en hauteur et en diamètre des BOP suivis dans les 2 sites suit un patron attendu (Figure 11, Figure 12, Annexe 2). En effet, une répercussion de la moins bonne vigueur observée chez les BOP du site 2 a été visible au niveau de la croissance de ce même groupe. Ainsi, la hauteur des BOP du site 1 a été observée significativement supérieure à celle des BOP du site 2 et cela, depuis la 3^{ème} année (Figure 11, Annexe 2). Des différences significatives ont aussi été observées pour la croissance diamétrale pour les 2 années où des données étaient disponibles pour les 2 sites (Figure 12, Annexe 2). Ainsi, en plus de la vigueur, la croissance des BOP du site 2 est significativement moins bonne.

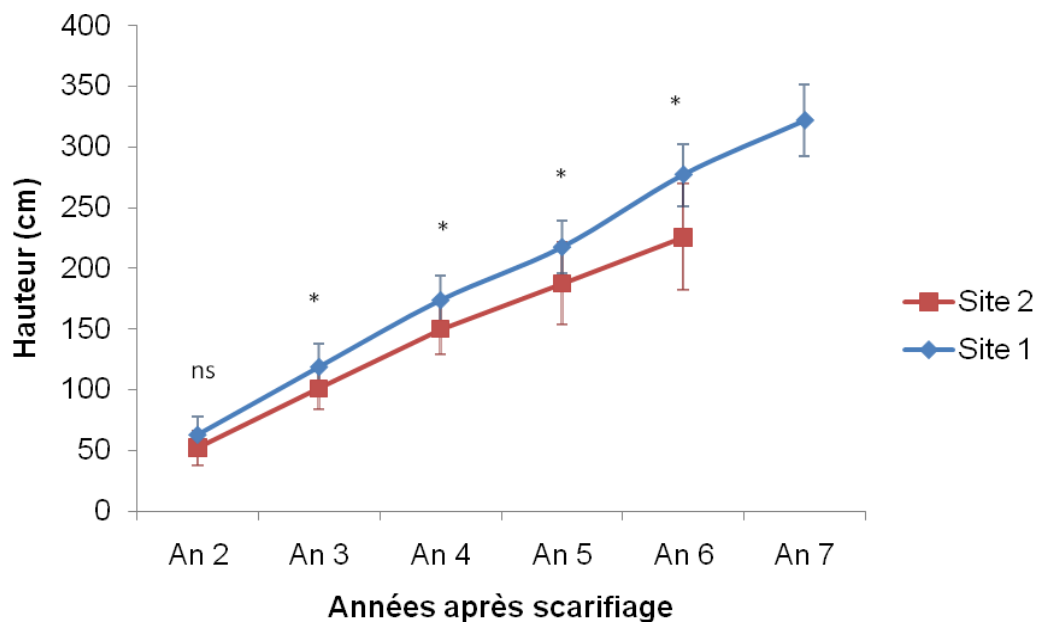


Figure 11. Moyennes de la hauteur des individus de BOP. Les résultats sont présentés pour les 2 sites (sans PET : Site 1 et avec PET : Site 2) et pour les 3 années de mesures.

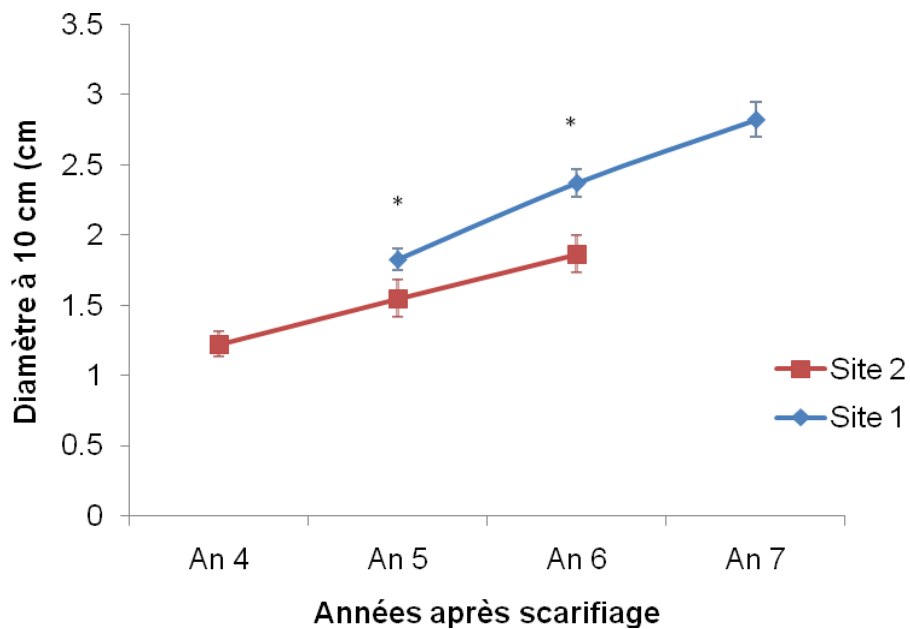


Figure 12. Moyennes du diamètre des individus de BOP. Les résultats sont présentés pour les 2 sites (sans PET : Site 1 et avec PET : Site 2) et pour les 3 années de mesures.

III.2.c. L'environnement lumineux et compétitif du BOP

Compte tenu de la différence significative entre la croissance de la végétation compétitrice entre les 2 sites, la position relative du BOP par rapport à cette végétation a été calculée pour estimer son statut de dominance. La Figure 13 montre bien qu'il existe une différence significative de la position du BOP entre les 2 sites. Dans le site 1, le BOP se situe à la hauteur de la végétation compétitrice, alors que dans le site 2, celui-ci se situe en moyenne, pour les 3 années de suivi, autour de 2/3 de cette végétation. De façon plus inquiétante, on voit bien que si dans le site 1 le BOP conserve sa position relative au cours des années, les BOP du site 2 ont tendance à perdre du terrain sur la végétation compétitrice (de 9/10^{ème} de la hauteur en 2007 à 6/10^{ème} en 2009). En ce qui concerne la disponibilité en lumière, ces différences de statut de dominance ont un impact direct pour le BOP. En moyenne, la lumière disponible pour les BOP du site 1 pour les années 5 et 6 a été de 87% de la lumière totale, pourcentage significativement différent du 60% pour les BOP dominant les poquets du site 2 (Figure 14). En théorie, ces valeurs sont tout à fait acceptables pour le bon développement du BOP (Safford et al. 1990) Toutefois, cette baisse de 40% de la lumière disponible en présence de PET diminue le taux de croissance du BOP qui continuera donc à perdre de la compétitivité vis-à-vis du PET. De plus, la présence du PET pourrait également avoir un impact sur la disponibilité en eau du sol. En effet, cette essence est connue pour être très consommatrice de cette ressource pendant la saison de croissance (Gifford et al. 1984), ce qui pourrait affecter d'autant plus la croissance du BOP.

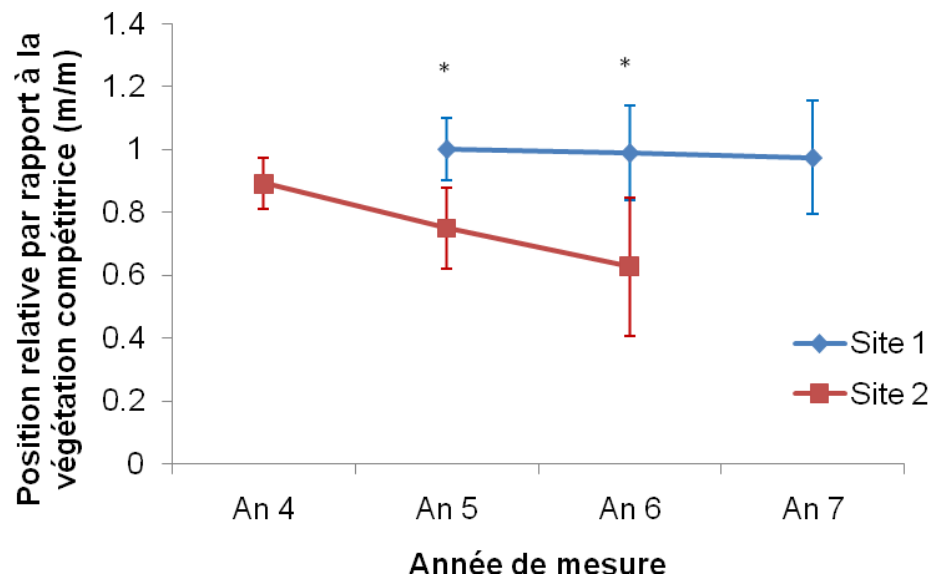


Figure 13. Moyennes de la position relative des individus de BOP par rapport à la compétition. Les résultats sont présentés pour les 2 sites (sans PET : Site 1 et avec PET : Site 2) et pour les 3 années de mesures.

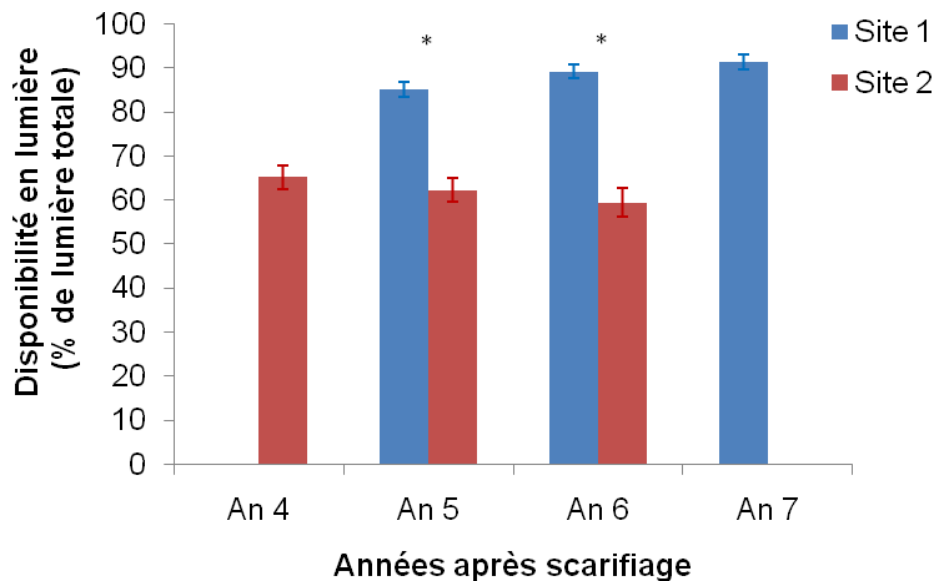


Figure 14. Moyennes de la disponibilité en lumière au sommet des individus de BOP. Les résultats sont présentés pour les 2 sites (sans PET : Site 1 et avec PET : Site 2) et pour les 3 années de mesures.

III.3. L'épinette blanche (EPB)

III.3.a. Le stocking et la survie de l'EPB

Le stocking en EPB dans les poquets, tel qu'il a été évalué 4 et 5 ans après scarifiage pour les sites 2 et 1 respectivement, était très bon pour cette essence qui, pourtant, peut connaître des défauts de régénération (Nienstaedt and Zasada 1990; Kabzems 1998). En effet, sur le site 1, près de 88% des poquets visités avaient au moins un semis d'EPB et ce pourcentage est monté à 98% pour le site 2. Cette différence pourrait simplement s'expliquer par le fait que cette espèce était plus présente dans le peuplement original du Site 2 (cf. Table 1), augmentant donc la disponibilité en semences. Cependant, il a déjà été observé que le scarifiage pouvait amener un établissement et une survie suffisante pour assurer un bon stocking en EPB (Stewart J.D. et al. 2000). De plus, au regard de la dominance des conifères dans le peuplement original du Site 2, il n'est pas exclu que ce site soit plus favorable à l'installation des conifères comparativement au Site 1. On notera également qu'à la différence du BOP, pour lequel un choix devait être fait parmi une population d'individus pour la sélection des tiges à suivre, il arrivait fréquemment de n'avoir qu'un ou deux semis d'EPB dans le poquet. Le stocking de cette essence, même si relativement élevé sur les 2 sites, ne doit laisser croire à une grande abondance de semis d'EPB.

L'installation des individus suivis d'EPB s'est majoritairement faite à l'intérieur des poquets (85.0% dans le Site 1 et 77.5% dans le Site 2), ce qui était attendu (Nienstaedt and Zasada 1990; Kabzems 1998). Aucune information rétroactive n'a été relevée sur la croissance des individus d'EPB suivis, ce qui n'a pas permis de retrouver l'information quant à l'année d'installation des différents individus suivis pour cette espèce (Delagrangé et al. 2008). Il a cependant déjà été évalué que l'installation de cette espèce après perturbation (i) était faible et (ii) se faisait en continue (Nienstaedt and Zasada 1990).

Pour ce qui est de la survie, elle est demeurée très bonne sur les 2 sites durant les 3 années de suivi. Une tendance semble toutefois se dessiner entre les sites puisqu'une augmentation de la mortalité est observée sur le site 1 (0% en 2007, 2.5% en 2008 et 7.7% en 2009), alors qu'elle est plutôt stable sur le site 2 (0% en 2007, 2.5% en 2008, et 0% en 2009). De plus, une différence de vigueur entre les 2 sites a également été observée (cf. section suivante) ce qui tendrait à confirmer l'évolution de ces taux de mortalité.

III.3.b Vigueur et croissance de l'EPB

La proportion des individus d'EPB ayant une vigueur faible (aiguilles jaunies, cassure de la tige, perte de d'aiguilles) était deux fois plus grande sur le site 1 (30%) que sur le site 2 (15%). Cependant, aucun patron clair n'a pu être identifié en ce qui concerne le ratio H/D de la tige. En effet, aucune différence significative entre les sites n'a pu être mise en évidence pour ce paramètre, ce qui laisse entendre qu'il n'y a pas eu chez cette essence de facteur pouvant amener à une étiolement de la tige différente entre les sites (Figure 15, Annexe 3).

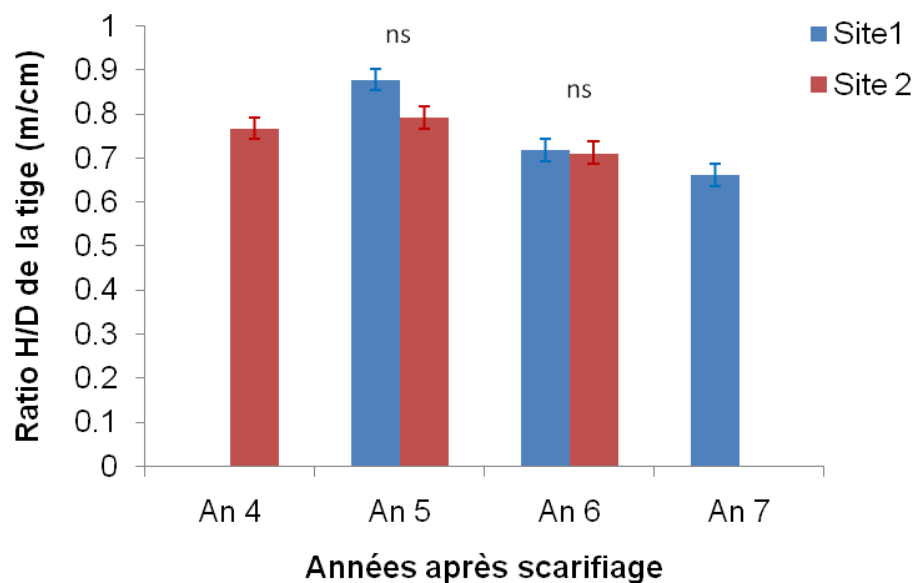


Figure 15. Moyennes du ratio H/D de la tige pour les individus d'EPB. Les résultats sont présentés pour les 2 sites (sans PET : Site 1 et avec PET : Site 2) et pour les 3 années de mesures

En ce qui concerne la vigueur de la cime, le pourcentage de cime vivante a eu tendance à diminuer au cours des 3 années de suivi (Figure 16) ce qui est aussi une évolution normale de ce paramètre chez cette espèce (Claveau et al. 2002). Cependant, la diminution semble être plus prononcée sur le site 1 que sur le site 2 (Figure 16, Annexe 3).

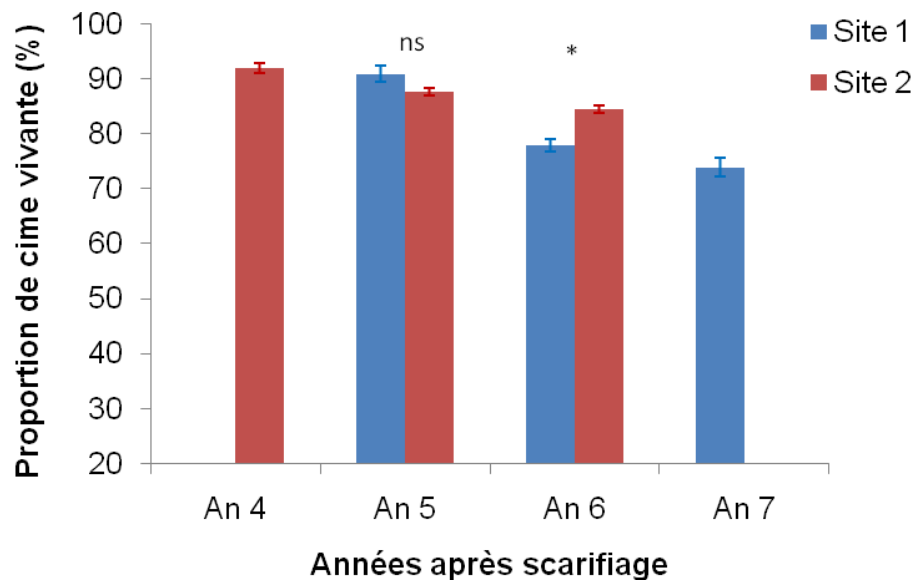


Figure 16. Moyennes de la proportion de cime vivante des individus d'EPB. Les résultats sont présentés pour les 2 sites (sans PET : Site 1 et avec PET : Site 2) et pour les 3 années de mesures.

En effet, 5 ans après le scarifiage, les EPB du site 1 avaient encore une proportion élevée de cime vivante comparativement aux EPB du site 2 ($p=0.09$, Figure 16), probablement à cause de leur plus petite taille (cf. Figure 18 et Claveau et al. (2002)). Néanmoins, un an plus tard, l'inverse était observée et cette fois, de façon significative (Figure 16, Annexe 3). Cette inversion entre les sites provient directement d'une chute drastique de ce paramètre chez les EPB du site 1 alors que la diminution est demeurée faible pour celles du site 2. Même s'il est encore trop tôt pour pouvoir attribuer ceci à un stress important subi par les individus du site 1, ceci reste une possibilité très raisonnable.

De plus, au regard de l'évolution de la morphologie de la cime, il apparaît également qu'à l'année 5, les EPB du site 1 ont eu tendance à développer une cime très allongée confirmant le pourcentage de cime vivante élevée cette même année (Figure 17, Annexe 3). Cependant, dès l'année suivante, due à une mortalité de la cime importante (identifiée chez 24% des semis), le ratio est alors rapidement retombé (et semble continuer à le faire cf. année 7 de la Figure 17). Encore une fois, il est difficile de conclure sur l'évolution distincte de ces ratios chez l'EPB entre les 2 sites sans avoir d'information pour l'année 7 du site 2 qui seule pourra confirmer ces tendances.

Il reste tout de même raisonnable, en tenant compte de l'ensemble des résultats associés à la vigueur de l'EPB, de soupçonner une vigueur plus faible de cette essence sur le site 1, laquelle pourrait avoir été causée par un étiolement de la cime trop important durant les toutes premières années d'établissement.

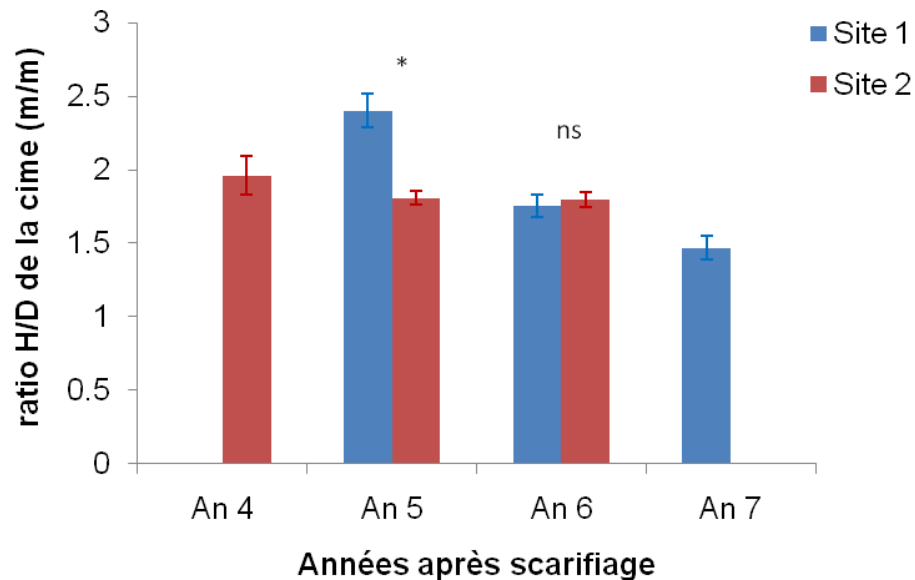


Figure 17. Moyennes du ratio H/D de la cime des individus d'EPB. Les résultats sont présentés pour les 2 sites (sans PET : Site 1 et avec PET : Site 2) et pour les 3 années de mesures.

La différence de vigueur observée entre les sites a également été retrouvée au niveau de la croissance en hauteur et en diamètre. Effectivement, la hauteur ainsi que le diamètre au collet des semis d'EPB ont été significativement moins élevés sur le site 1 que sur le site 2 (Figure 18 et 19, Annexe 3).

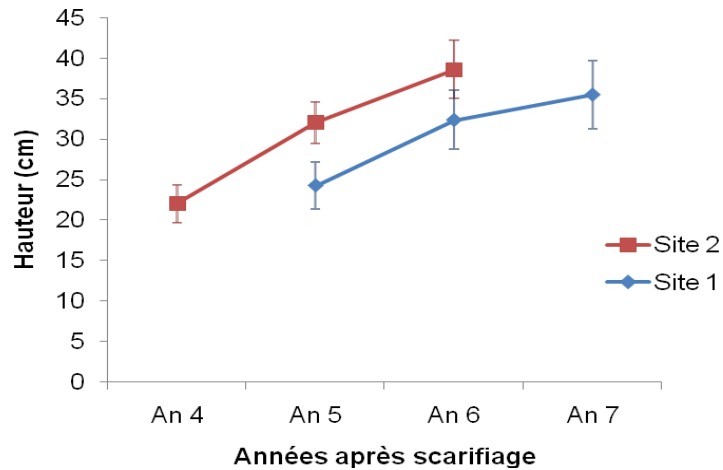


Figure 18. Moyennes de hauteur des individus d'EPB. Les résultats sont présentés pour les 2 sites (sans PET : Site 1 et avec PET : Site 2) et pour les 3 années de mesures.

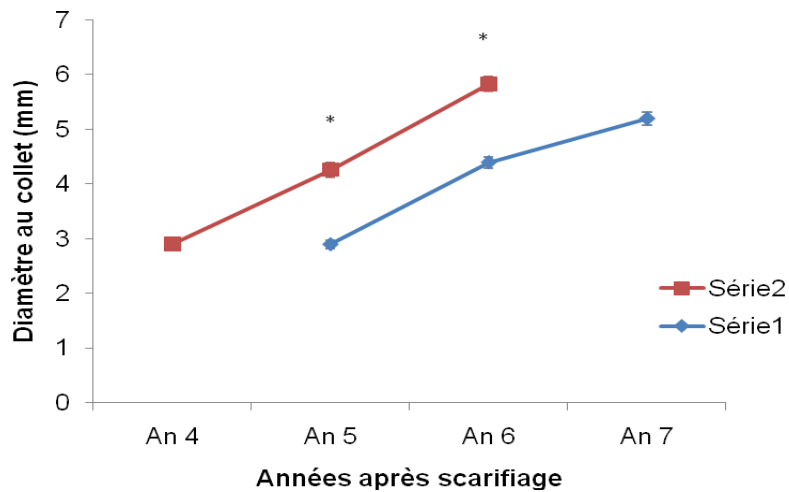


Figure 19. Moyennes du diamètre des individus d'EPB. Les résultats sont présentés pour les 2 sites (sans PET : Site 1 et avec PET : Site 2) et pour les 3 années de mesures.

III.3.c. L'environnement lumineux et compétitif de l'EPB

La disponibilité en lumière entre les deux sites, pour des saisons de croissance comparables après scarifiage, n'a pas été significativement différente entre le site 1 et le site 2 (Figure 20. Annexe 3). Ce résultat est particulièrement intéressant pour plusieurs raisons. Premièrement, la végétation compétitrice sur le site 2 a atteint des hauteurs plus importantes que sur le site 1. Ceci a eu pour conséquence de diminuer la lumière disponible dans les hauteurs où le BOP se trouve, mais du fait d'un profil vertical d'absorption différent, cette même végétation ne semble pas avoir diminué significativement la disponibilité en lumière dans les hauteurs où l'EPB se trouve. Ainsi, ceci supposerait que le PET (plus présent dans la végétation du site 2, cf. Tableau 4), bien que captant la lumière plus haut, laisse passer plus de lumière au travers de sa cime qu'une végétation composée de CEP et de BOP. Des différences de transmission lumineuse au travers de la cime ont déjà été observées entre différentes espèces d'arbres (Lefrançois et al. 2008) et il a déjà été supposé que ces différences pourraient avoir un impact sur la cohabitation et la compétitivité des individus en régénération (Beaudet et al. 2002). De plus, il semblerait également que même si la valeur moyenne de disponibilité en lumière est proche entre les deux sites, la variabilité de cette disponibilité à l'intérieur des sites semble très différente (importante sur le site 1 et très faible sur le site 2 (cf. Delagrangé et al. 2008)). Une investigation plus poussée devrait être envisagée dans cette direction afin de vérifier cette hypothèse.

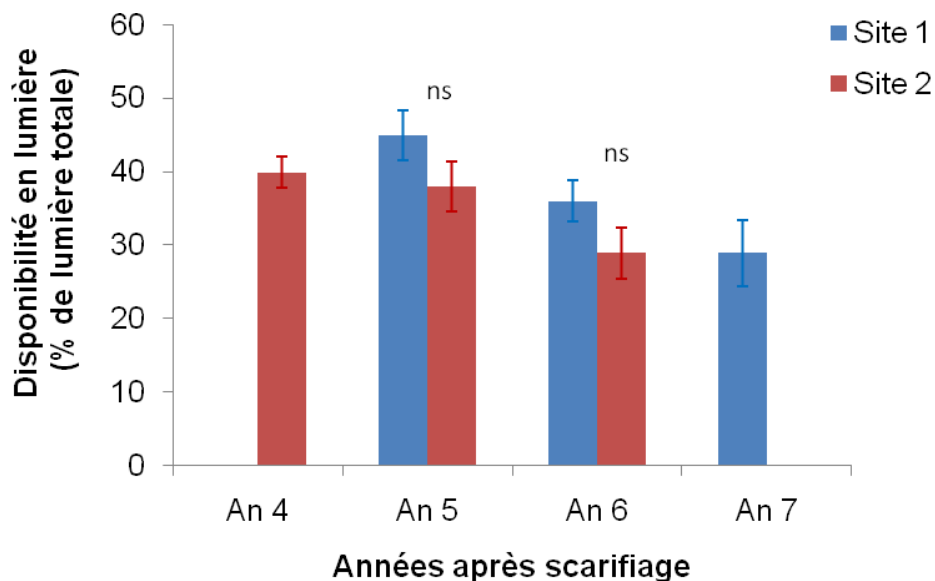


Figure 20. Les résultats sont présentés pour les 2 sites (sans PET : Site 1 et avec PET : Site 2) et pour les 3 années de mesures.

Tableau 4. Intensité de compétition (% de recouvrement évalué visuellement) et fréquence d'occurrence du type d'espèce compétitrice rencontrée par les individus d'EPB suivis en fonction de 2 positions (au sommet du semis d'EPB et au dessus du sommet [globale]) et des 2 sites échantillonnés.

Site	Intensité (%)	Compétition							
		Espèce (fréquence d'occurrence, %)							
		au sommet				globale			
		CEP	PET	BOP	AUT	CEP	PET	BOP	AUT
1	33 (\pm 26)	14	13	30	43	59	8	25	8
2	31 (\pm 22)	10	23	10	57	37	55	3	5

Deuxièmement, en considérant que la disponibilité en lumière n'est pas différente entre les 2 sites mais que la vigueur, la croissance et, jusqu'à un certain point, la survie de l'EPB diffèrent, ceci laisse supposer que la présence du PET pourrait avoir un autre impact qui affecterait positivement l'EPB. Une cohabitation entre ces 2 espèces est fréquemment retrouvée dans les peuplements naturels et plusieurs pratiques sylvicoles ont été élaborées pour reproduire cette cohabitation (Stewart et al. 2000; Comeau et al. 2004; Voicu and Comeau 2006). Il semblerait que le couvert de PET servirait de couvert de protection contre le gel et les dommages hivernaux tout en limitant l'apparition de végétation compétitrice en sous-couvert. Cependant, il n'est pas clair de savoir pourquoi un couvert de CEP et BOP ne fournirait pas les mêmes avantages. Une piste d'explication pourrait être que le PET est une espèce très consommatrice en eau durant la saison de croissance (Gifford et al. 1984; Perala 1990) ce qui pourrait fournir à l'EPB les sites bien drainés qu'elle requiert (Nienstaedt and Zasada 1990). Autre hypothèse complémentaire : il est possible que le PET, provenant majoritairement de drageons, permette un drainage du sol en consommant l'eau dans un compartiment plus profond du sol. À l'inverse, le couvert de CEP et PET pourrait entrer en compétition directe avec l'EPB en consommant l'eau dans le compartiment superficiel du sol.

Bien entendu, ces hypothèses ne doivent pas faire oublier qu'il pourrait exister entre les 2 sites une différence topographique non prise en compte et qui pourrait avoir un effet direct sur le drainage local ou tout simplement sur l'autécologie de l'EPB.

IV. Conclusions

Le scarifiage par poquet a montré de très bons résultats sur l'établissement et la croissance juvénile des deux essences cibles (ici le BOP et l'EPB). Sur les 2 sites inventoriés, le BOP s'est très bien installé mais les dominants de leur espèce étaient néanmoins retrouvés à la bordure du poquet plutôt qu'au centre. De même, l'installation de l'EPB a été très bonne en termes de stocking. Cependant, la densité de semis était loin d'être abondante. Contrairement au BOP, l'EPB s'est préférentiellement installée au centre du poquet, ou plus précisément sur les microsites de sol minéral.

Cependant, il apparaît clairement qu'en appliquant une même recette sylvicole (coupe par parquet suivi d'un scarifiage par poquet) à différents peuplements, le succès à moyen et long terme de la régénération en espèces cibles peut grandement différer d'un site à l'autre. En effet, au regard de l'ensemble des variables mesurées sur les deux sites, il a été observé que la présence ou non de PET en proportion importante (ici 50% de la dominance des poquets) dans la régénération crée deux systèmes complètement distincts favorisant l'une ou l'autre des 2 essences cibles :

- Dans le site sans PET, l'établissement du BOP s'est fait avec un très bon succès tant au niveau du stocking que de la croissance juvénile. Durant la 6^{ème} saison de croissance suivant le scarifiage, le BOP était d'ailleurs toujours l'une des 2 essences co-dominantes dans le couvert. Cependant, sur ce même site, la vigueur et la croissance de l'EPB ont été moindre, laissant présager une mortalité importante à court terme et donc un défaut de régénération à moyen terme. Même si l'origine de cette moins bonne vigueur de l'EPB n'a pu être clairement identifiée, il est possible que la présence d'un couvert dominé par le CEP et le BOP puisse avoir un effet négatif sur les semis naturels d'EPB. Une alternative à tester pourrait être de réaliser un enrichissement en EPB sous ce type de couvert afin de déterminer si leur vigueur serait supérieure au semis naturel. De plus, il serait probablement nécessaire d'attendre que le couvert de protection soit au stade plus avancé d'exclusion des tiges afin de minimiser les possibles impacts négatifs d'une compétition réalisant sa nutrition dans les mêmes compartiments que les plants d'EPB.
- Dans le site avec PET, l'inverse fut observé. Le BOP généré dans les poquets s'est retrouvé légèrement en dessous du PET ce qui a amoindri sa croissance et sa vigueur. La résultante de cette baisse de croissance est importante, car elle implique une constante perte de terrain de cette espèce vis-à-vis de la végétation compétitrice. Après 6 ans, le BOP n'a d'ailleurs jamais été retrouvé comme essence dominante dans aucun poquet. En revanche, sur ce site, l'EPB a connu un bon établissement et sa vigueur semble très bonne. Il semblerait donc que la régénération en EPB serait favorisée par la présence de PET. Plusieurs hypothèses sont probables dont la création d'un environnement lumineux particulier sous le PET ainsi qu'un partage physique des ressources du sol

entre l'EPB et le PET, mais l'ensemble devra faire l'objet d'un suivi plus spécifique pour être confirmé.

Il sera primordial d'effectuer une remesure de ces dispositifs à moyen terme afin de valider les effets observés dans les deux systèmes en régénération (i.e. avec et sans PET). L'enrichissement en EPB, afin de contrecarrer sa faible installation, demeure toujours une option très appropriée. Cependant, les résultats de cette étude tendent à montrer qu'il serait réfléchi de tenir compte de l'âge et surtout de la composition des peuplements avant d'en faire l'implantation.

Références

- Aubin, I., Beaudet, M. and Messier, C. 2000. Light extinction coefficients specific to the understory vegetation of the southern boreal forest, Quebec. - *Can. J. For. Res.* 30: 168-177.
- 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.
- Bouffard, D. and Nolet, P. Étude de l'établissement de la régénération en bouleau jaune deux ans après un essai opérationnel de diverses méthodes de scarifiage intégré aux opérations de récolte dans les trouées. 2003. Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue. Ripon, Qc, Canada. 28p.
Ref Type: Report
- Claveau, Y., Messier, C. and Comeau, P. G. 2005. Interacting influence of light and size on aboveground biomass distribution in sub-boreal conifer saplings with contrasting shade tolerance. - *Tree Physiol.* 25: 373-384.
- Claveau, Y., Messier, C., Comeau, P. G. and Coates, K. D. 2002. Growth and crown morphological responses of boreal conifer seedlings and saplings with contrasting shade tolerance to a gradient of light and height. - *Can. J. For. Res.* 32: 458-468.
- Comeau, P. G., Filipescu, C. N., Kabzems, R. and DeLong, C. 2004. Early growth of white spruce underplanted beneath spaced and unspaced aspen stands in northeastern British Columbia. - *Can. J. For. Res.* 34: 2277-2283.
- Delagrangé, S., Nolet, P. and Bouffard, D. Établissement, croissance et survie du bouleau blanc et de l'épinette blanche après l'application de traitements de scarifiage par poquets. Rapport technique, -24 p. 2008. Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue, Ripon, Qc.
Ref Type: Report
- 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.
- Delagrangé, S. and Nolet, P. Établissement, croissance et survie du bouleau blanc et de l'épinette blanche après l'application de traitements de scarifiage par poquets. Phase II. -24. 2009. Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue, Ripon, Qc.
Ref Type: Report
- Doyon, F., Nolet, P. and Lorenzetti, F. Suivi de la régénération du bouleau blanc cinq ans après coupe progressive d'ensemencement avec et sans scarifiage. Rapport Technique., -35 p. 2001. Ripon, Qc, Canada, Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue.
Ref Type: Report
- Erdmann, G. G. 1990. *Betula alleghaniensis* Britton, Yellow Birch. *Silvics of North America*, Volume 2 : Hardwoods. E.U. Forest service, pp. 133-147.

- Fajvan, M. A., Plotkin, A. B. and Foster, D. R. 2008. Modelling tree regeneration height growth after an experimental hurricane. - *Can. J. For. Res.* 36: 2003-2014.
- Frazer G.W., Canham C.D. and Lertzman K.P. Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation. 1999. Copyright © 1999 Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, and the Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York.C.
Ref Type: Computer Program
- Gifford, G. F., Humphries, W. and Jaynes, R. 1984. A Preliminary Quantification of the Impacts of Aspen to Conifer Succession on Water Yield- II. Modeling Results1. - *American Water Resources Association* 20: 1752-1688.
- Givnish, T. J. 1988. Adaptation to sun and shade: a whole-plant perspective. - *AUST. J. PLANT PHYSIOL.* 15: 63-92.
- Hintze, J. L. NCSS and Pass. Number Cruncher Statistical Systems. Kaysville, Utah.
www.ncss.com. 2004.
Ref Type: Serial (Book, Monograph)
- Kabzems, R. Regenerating Boreal Mixedwoods: Initial results of a Group Shelterwood Silviculture System in Trembling Aspen - White Spruce Stands. #PG-15, 1-6. 1998. Ministry of Forest, Prince George, BC, Canada.
Ref Type: Report
- Lefrançois, M., Beaudet, M. and Messier, C. 2008. Crown openness as influenced by tree and site characteristics for yellow birch, sugar maple, and eastern hemlock. - *Can. J. For. Res.* 38: 488-497.
- Lorenzetti, F., Delagrange, 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.
- Morin, A., Beaudet, M., Delagrange, S., Swift, L., Greene, D., Messier, C. and Kneeshaw, D. D. Revue de littérature; Principales causes de mortalité et principes de modélisation de la régénération chez les semis de bouleau jaune (*Betula alleghaniensis*). 2003. Université du Québec à Montréal - GREFi.
Ref Type: Report
- Nienstaedt, H. and Zasada, J. C. 1990. *Picea glauca* (Moench) Voss, White Spruce. *Silvics of North America, Volume 1 : Conifers*. E.U. Forest service, p.
http://www.na.fs.fed.us/spfo/pubs/silvics_manual/Volume_1/picea/glauca.htm.
- Nolet, P. and Forget, E. 2003. Étude de la relation du ratio hauteur/diamètre avec la croissance et l'âge des gaules en peuplements feuillus dégradés. - Institut québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue, Ripon, Qc.

- Nolet, P. and Poirier, J. Essai opérationnel de diverses méthodes de scarifiage intégré aux opérations dans les trouées et mise en place d'un dispositif de suivi. 25 p. 2001. Ripon, Qc, Canada, Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue.
Ref Type: Serial (Book, Monograph)
- Ouellet, D. and Zarnovican, R. 1988. Cultural treatment of young yellow birch (*Betula alleghaniensis* Britton) stands: tree classification and stand structure. - *Can. J. For. Res.* 18: 1581-1586.
- Perala, D. A. 1990. *Populus tremuloides* Michx. Quaking Aspen. - In: Burns, R. M. and Honkala, B. H. (eds.), *Silvics of North America, Volume 2: Hardwoods*. USDA Forest Service.
- Perala, D. A. and Alm, A. A. 1990. Regeneration silviculture of birch: A review. - *For. Ecol. Manage.* 32: 39-77.
- Robitaille, A. and Saucier, J.-P. 1998. *Paysages régionaux du Québec méridional*. - Les Publications du Québec. 213 p.
- Safford, L. O., Bjorkbom, J. C. and Zasada, J. C. 1990. *Betula papyrifera* Marsh. Paper birch. U.S. For. Serv. Agric. Handb. 654. pp. *Silvics of North America, Volume 2: Hardwoods*. U.S. Forest service, pp. 158-171.
- Stewart J.D., Landhausser S.M., Stadt K.J. and Lieffers V. 2000. Regeneration of White Spruce Under Aspen Canopies: Seeding, Planting, and Site Preparation. - *West J. Appl. Forestry* 15: 177-184.
- Stewart, J. D., Landhausser, S. M., Stadt, K. J. and Lieffers, V. 2000. Regeneration of White Spruce Under Aspen Canopies: Seeding, Planting, and Site Preparation. - *Western Journal of Applied Forestry* 15: 177-184.
- Tubbs, C. H. 1969. The influence of Light, Moisture, and Seedbed on Yellow Birch Regeneration. - North Central Forest Experiment Station, USDA Forest Ser.
- Tubbs, C. H. and Oberg, R. R. Growth response of seedling yellow birch to humus-mineral soil mixtures. Research Note NC-6 North Central Forest Experiment Station. 1966. St-Paul, Minnesota, USA, U.S. Forest Service.
Ref Type: Serial (Book, Monograph)
- Voicu, M. F. and Comeau, P. G. 2006. Microclimatic and spruce growth gradients adjacent to young aspen stands. - *For. Ecol. Manage.* 221: 13-26.

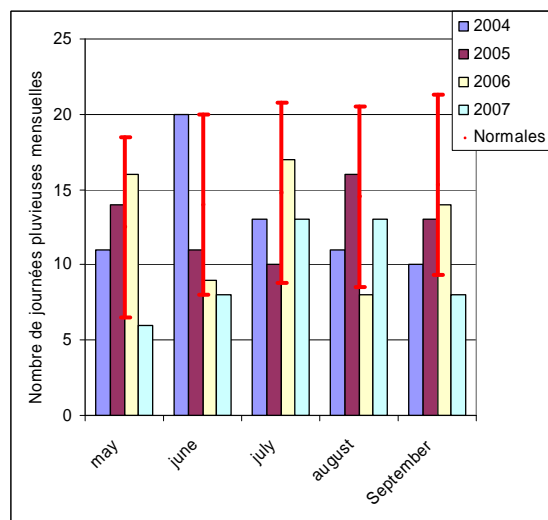
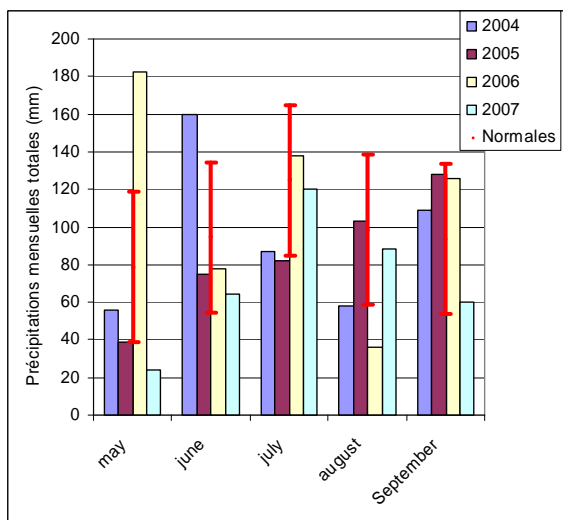
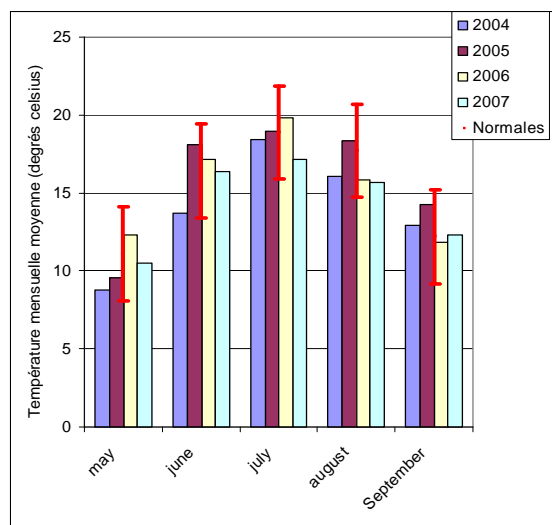
Annexes

Annexe 1 : Résumé des données climatiques de 2004-2007 pour la station météorologique de La Tuque

Année	Temp. Moyenne estivale °C	Précipitations estivales totales mm
2004	13.98 (±3)	470 (±40)
2005	15.86 (±3)	426.7 (±40)
2006	15.38 (±3)	559.7 (±40)
2007	14.42 (±3)	356.1 (±40)

Moyenne estival (mai-septembre) de températures et précipitation estivale (mai-septembre) totale. Entre parenthèse sont indiqués les écart types calculés sur les valeurs normales de ces paramètres pour la période estivale (mai-septembre). La seule différence notable est une année particulièrement pluvieuse en 2006. Aucune limitation n'est donc visible pour ces 4 années.

La température moyenne mensuelle n'a pas grandement variée entre les années et ne s'écarte pas des valeurs normales (fenêtre de valeurs symbolisée par le segment rouge).



Plus d'écart sont visibles du côté des précipitations mensuelles. 2006 est une année qui a été plus pluvieuse. Au niveau de possible limitation, seuls les mois de mai 2007 et août 2006 ont montré des valeurs extérieures à la fenêtre de valeurs des normales (symbolisée par les segments rouges). Cependant, 2006 ayant été autrement une année où les précipitations n'ont pas été limitantes et 2007 n'étant pas une année d'installation des individus mesurés, l'impact de ces événements l'impact peut assurément être négligé.

Annexe 2 : Résultats des analyses statistiques pour les paramètres du BOP

	Année testée après scarifiage	Somme des carrés	Carrés moyens	<i>F</i>	<i>p</i>
H/D de la tige					
Source de	5 ^{ème}	2.488594E-03	2.488594E-03	0.04	0.841581
variation: Site	6 ^{ème}	0.3104446	0.3104446	4.04	0.047978*
% de Cime vivante					
Source de	5 ^{ème}	8.3205	8.3205	0.08	0.781038
variation: Site	6 ^{ème}	695.0205	695.0205	5.26	0.024470*
H/D de la cime					
Source de	5 ^{ème}	7.021125	7.021125	17.67	0.000069*
variation: Site	6 ^{ème}	2.45	2.45	8.96	0.003698*
Hauteur					
Source de	2 ^{ème}	2155.734	2155.734	2.39	0.126574
variation: Site	3 ^{ème}	6265.8	6265.8	4.54	0.036219*
Source de	4 ^{ème}	11056.75	11056.75	6.16	0.015230*
variation: Site	5 ^{ème}	17523.2	17523.2	5.29	0.024115*
	6 ^{ème}	52582.51	52582.51	9.88	0.002361*
Diamètre à 10 cm					
Source de	5 ^{ème}	2.026298	2.026298	6.90	0.010358*
variation: Site	6 ^{ème}	5.146051	5.146051	9.40	0.002977*
Disponibilité en Lumière					
Source de	5 ^{ème}	4390.425	4390.425	23.00	0.000008*
variation: Site	6 ^{ème}	12382.78	12382.78	46.29	0.000000*
Ht BOP/Ht Comp					
Source de	5 ^{ème}	1.743127	1.743127	27.29	0.000001*
variation: Site	6 ^{ème}	3.044938	3.044938	99.88	0.000000*

Annexe 3 : Résultats des analyses statistiques pour les paramètres de l'EPB

	Année testée après scarifiage	Somme des carrés	Carrés moyens	F	p
H/D de la tige					
Source de	5 ^{ème}	0.1389411	0.1389411	2.00	0.161670
variation: Site	6 ^{ème}	4.424353E-02	4.424353E-02	1.56	0.215793
% de Cime vivante					
Source de	5 ^{ème}	103.8462	103.8462	2.88	0.093846
variation: Site	6 ^{ème}	809.3976	809.3976	15.13	0.000211*
H/D de la cime					
Source de	5 ^{ème}	7.473418	7.473418	24.51	0.000004*
variation: Site	6 ^{ème}	4.628205E-02	4.628205E-02	0.25	0.615424
Hauteur					
Source de	5 ^{ème}	1201.417	1201.417	9.67	0.002623*
variation: Site	6 ^{ème}	888.1869	888.1869	4.53	0.036630*
Diamètre au collet					
Source de	5 ^{ème}	0.3578111	0.3578111	9.10	0.003461*
variation: Site	6 ^{ème}	0.3991846	0.3991846	9.62	0.002696*
Disponibilité en Lumière					
Source de	5 ^{ème}	853.8336	853.8336	2.66	0.106847
variation: Site	6 ^{ème}	634.3411	634.3411	3.21	0.077172