

1  
*Jacques Allaire*

**REMISE EN PRODUCTION DES MILIEUX OUVERTS  
SUR STATIONS SÈCHES DANS LA PESSIÈRE À MOUSSES  
DU SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN, CHIBOUGAMAU CHAPAIS :  
RÉSULTATS 5 ANS APRÈS PLANTATION**

Par :

François Hébert, M. Sc.

Pascal Tremblay, B. Sc.

Jacques Allaire, Agr.

Denis Walsh, M. Sc.

Daniel Lord Ph. D.

Université du Québec à Chicoutimi

*Collaborateur :*

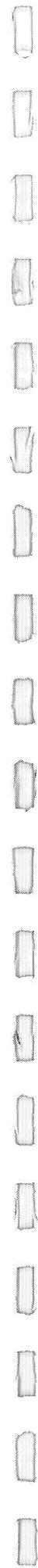
*Damien Côté, M. Sc.*

*Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune*

*Québec*



2020年10月10日



**REMISE EN PRODUCTION DES MILIEUX OUVERTS SUR STATIONS SÈCHES  
DANS LA PESSIÈRE À MOUSSES  
DU SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN, CHIBOUGAMAU CHAPAIS :  
RÉSULTATS 5 ANS APRÈS PLANTATION**

Par :

François Hébert, M. Sc.

Pascal Tremblay, B. Sc.

Jacques Allaire, Agr.

Denis Walsh, M. Sc.

Daniel Lord Ph. D.

Université du Québec à Chicoutimi

555, boul. Université

Chicoutimi, Québec

G7H 2B1

Tel. : (418) 545-5011 poste 5064

Collaborateur :

Damien Côté, M. Sc.

Direction régionale du Saguenay-Lac-Saint-Jean, Chibougamau-Chapais

Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune

3950, boul. Harvey

Jonquière, Québec

G7X 8L6

Tel. : (418) 695-8125

Juillet 2007



## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Damien Côté du Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune (MRNF) région 02 pour son initiative et son support dans le cadre de ce projet. Nous remercions aussi tous les intervenants du MRNF secteur forêt soit : Gervais Rhéault (UG 26), Ghyslain Groleau (UG 27), Martin Parent (UG 22), et Claude Dussault du MRNF, secteur faune. Nous remercions tous les partenaires industriels soit : Éric Rousseau (COOP forestière de Laterrière), Luc Bolduc et Daniel Pelletier (COOP forestière de Girardville), Alain Réhaume (COOP forestière de Chapais-Chibougamau), Alain Tremblay (COOP forestière de Petit-Paris), Michel Belleau (Abitibi-Consolidated), Jean-François Côté (Bowater), Chantiers Chibougamau Ltée, Barette-Chapais Ltée et Pierre Mathieu à titre de forestier conseil. Finalement, nous tenons à remercier Daniel Gagnon, Technicien horticole (UQAC) pour la production des plants de cette expérience et tous les étudiants de premier et deuxième cycle de l'UQAC ayant contribué à la réalisation de ce projet.



## RÉSUMÉ

Au sein de la pessière noire à mousses fermée de la forêt boréale commerciale, on retrouve des forêts ouvertes d'étendue variable où la composition végétale se compare à celle rencontrée dans les domaines de la pessière à lichens et de la toundra forestière. Ces milieux ouverts de stations sèches (souvent appelés dénudés secs) sont caractérisés par un couvert arborescent d'arbres épars, principalement d'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.), parfois accompagné de pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.), et dont la densité du couvert est inférieure à 40 % et d'une strate arbustive composée de lichens des genres *Cladina* et *Cladonia* associé à des plantes arbustives de la famille des éricacées. L'ouverture de ces milieux provient d'une succession de perturbations naturelles en rafale qui nuit à l'établissement de la régénération. Étant donné que la croissance des arbres dans ces milieux ouverts est comparable à celle des pessières fermées, la remise en production de ces milieux semble envisageable. Les objectifs du projet sont de tester la réaction des plantations (survie et croissance) dans des milieux ouverts créés naturellement au sein de forêts fermées de ce domaine. Deux facteurs sont aussi étudiés simultanément, soit l'effet de différents modes de préparation de terrain et l'utilisation de différents gabarits de semis d'épinette noire. Trois préparations de terrain sont testées dans les milieux ouverts à station sèche (DS) soit : le scarifiage, la taupe et sans préparation de terrain. La réponse des plants dans les DS a été comparée à une plantation réalisée dans une pessière à mousses récoltée et scarifiée. Deux gabarits de plants furent testés, soit ceux produits en récipient de 67 cavités de 50 cm<sup>3</sup> et ceux produits en récipient de 126 cavités de 25 cm<sup>3</sup>. Des mesures morphologiques sont effectuées pour chaque plant récolté.

Dans les DS le scarifiage est la préparation de terrain qui a permis d'obtenir les meilleurs taux de survie et de croissance (hauteur, diamètre, biomasse aérienne) cinq ans après plantation. La teneur en nutriments foliaires est aussi supérieure dans les plants des parcelles scarifiées. La meilleure croissance dans les parcelles scarifiées pourrait être la résultante d'une augmentation de charge radiative du sol causée par ce traitement et qui stimule la croissance racinaire et l'absorption de nutriments en plus d'améliorer les fonctions hydriques. Le faible niveau de perturbation créé par la taupe entraîne une légère augmentation du taux de survie par rapport aux plants des parcelles sans préparation de terrain. La croissance et la survie des plants sont supérieures dans la pessière à mousses (PM) par rapport au DS. Cette différence de productivité pourrait être liée au niveau de perturbation supérieure des parcelles scarifiées des PM qui furent récoltées avant le scarifiage, niveau de perturbation qui est positivement corrélé au contrôle de la végétation compétitive. Les plants de gabarit 126-25 ont montré des taux relatifs de croissance supérieurs aux plants de gabarit conventionnel 67-50. Ces résultats portent donc à croire que les DS représentent un potentiel de productivité inexploité qui mérite une attention particulière.



## **TABLES DES MATIÈRES**

Liste des figures	V
Liste des tableaux	VI
Introduction	1
Matériel et méthode	5
Dispositif expérimental	5
Matériel végétal	7
Échantillonnage	8
Analyses statistiques	9
Résultats	11
Discussion	22
Impact des modes de préparation de terrain dans les DS	22
Comparaison entre les DS scarifiés et les PNM aménagées	24
Comparaison entre les deux gabarits de plants	26
Conclusions	28
Références	31



## LISTE DES FIGURES

- Figure 1 : Localisation des 7 sites et des 19 blocs (numéro entre parenthèses) du dispositif.
- Figure 2 : Exemple de la disposition des parcelles et sous parcelles à l'intérieur d'un bloc du dispositif.
- Figure 3 : Effet des préparations de terrain et des gabarits de plants sur la survie des plants cinq ans après plantation. Les abréviations sont présentées au tableau 1 (n= 18).
- Figure 4 : Effet des préparations de terrain et des gabarits de plants sur la biomasse sèche épigée ( $BS_{tige}$ ) des plants récoltés cinq ans après plantation. Les abréviations sont présentées au tableau 1, (n = 90 pour TaDS-67-50 et ScPM126-25, 89 pour ScDS-67-50, ScDS-126-25 et TaDS-126-25, 88 pour SpDS-67-50 et ScPM-67-50, n = 85 pour SpDS-126-25).
- Figure 5 : Effets des préparations de terrain et des gabarits des plants sur la hauteur totale  $H_{tot}$ , et le diamètre au collet ( $D_{col}$ ) des plants récoltés cinq ans après plantation. Les abréviations sont présentées au tableau 1, (n = 90 pour TaDS-67-50, et ScPM126-25, 89 pour ScDS-67-50, ScDS-126-25 et TaDS-126-25, 88 pour SpDS-67-50 et ScPM-67-50, n = 85 pour SpDS-126-25).
- Figure 6 : Effets des préparations de terrain sur la variable du ratio hauteur/diamètre (ratio H/D) des plants récoltés cinq ans après plantation. Les abréviations sont présentées au tableau 1 (n = 90 pour TaDS-67-50, et ScPM126-25, 89 pour ScDS-67-50, ScDS-126-25 et TaDS-126-25, 88 pour SpDS-67-50 et ScPM-67-50, n = 85 pour SpDS-126-25).
- Figure 7 : Effet du temps (années) sur la biomasse sèche aérienne et les taux relatifs de croissance (TRC) pour les cinq années de croissances suivant la plantation des plants d'EPN de gabarit 126-25 et 67-50 pour chacun des quatre traitements de préparation de terrain. Les abréviations sont présentées au tableau 1, (n = 84 pour SpDS 126-25, n = 89 pour TaDS 126-25, ScDS 126-25 et ScPM 126-25, n = 88 pour SpDS 67-50, n = 90 pour TaDS 67-50, n = 89 pour ScDS 67-50, et n = 88 pour ScPM 67-50).
- Figure 8 : Effet des préparations de terrain sur le contenu en azote foliaire (g/kg) cinq ans après la plantation. Les abréviations sont présentées au tableau 1 (n = 36).
- Figure 9 : Effet du gabarit des plants sur le contenu en phosphore foliaire (g/kg) cinq ans après la plantation. Les abréviations sont présentées au tableau 1 (n = 72).



Figure 10 : Effet des préparations de terrain et du gabarit des plants sur le contenu en potassium foliaire (g/kg) et en calcium foliaire (g/kg) cinq ans après la plantation. Les abréviations sont présentées au tableau 1 (n = 18).

## LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 1 : Superficiés reboisées (hectare) en fonction des sites, et des traitements de préparation de terrain et de gabarit. Abréviations : SpDS = sans préparation dans dénudé sec (DS), TaDS = taupé dans DS, ScDS = scarifié dans DS, ScPM = Scarifié dans une pessière noire à mousses aménagée, 126-25 = gabarit de plant produit en récipient 126 cavités de 25 cm<sup>3</sup>, 67-50 = gabarit de plant produit en récipient 67 cavités de 50 cm<sup>3</sup>.
- Tableau 2 : Résumé de l'analyse de variance (valeurs de  $p$ ) du taux de survie de plants d'EPN cinq ans après plantation. Les facteurs significatifs sont indiqués en caractère gras ( $P < 0,05$ ). dln = degrés de liberté au numérateur. Les abréviations sont présentées au tableau 1.
- Tableau 3 : Effet des préparations de terrain et des gabarits de plants sur la survie des plants d'EPN aux échantillonnages 1, 2 et 5 ans après la plantation. Les abréviations sont présentées au tableau 1
- Tableau 4 : Résumé de l'analyse de variance (valeurs de  $p$ ) de la hauteur ( $H_{tot}$ ), du diamètre au collet ( $D_{col}$ ), de la biomasse sèche aérienne ( $BS_{tige}$ ) et du ratio hauteur/diamètre (H/D) de plants d'EPN cinq ans après la plantation. Les valeurs en gras indiquent les résultats significatifs ( $p < 0.05$ ). dln = degré de liberté au numérateur. Les abréviations sont présentées au tableau 1.
- Tableau 5 : Résumé de l'analyse de variance (valeurs de  $p$ ) pour la biomasse aérienne ( $BS_{tige}$ ) et le taux relatif de croissance de la biomasse aérienne ( $TRC_{tige}$ ), correspondant aux contrastes orthogonaux faits sur l'interaction Date\*Prép. terrain pour les plants d'EPN de gabarit 67-50 et 126-25 à quatre dates, soit un, deux, trois et cinq ans après la plantation. Les valeurs en gras indiquent les résultats significatifs ( $p < 0.05$ ). dln = degré de liberté au numérateur. Les abréviations sont présentées au tableau 1.
- Tableau 6 : Résumé de l'analyse de variance (valeurs de  $p$ ) du contenu foliaire en azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium de plants d'épinettes noires cinq ans après plantation. Les valeurs en gras indiquent les résultats significatifs ( $p < 0.05$ ). dln = degré de liberté au numérateur. Les abréviations sont présentées au tableau 1.



## INTRODUCTION

Les grandes forêts fermées d'épinette noire dominant le paysage forestier du domaine de la pessière noire à mousses. Ça et là, cependant, se retrouvent aussi des forêts ouvertes de superficie variable où la composition végétale se compare à celle rencontrée dans les domaines de la pessière à lichens et de la toundra forestière (Morneau et Payette 1989, Riverin et Gagnon 1996). Ces milieux ouverts contiennent deux strates principales. La première se compose d'arbres épars, principalement d'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.), parfois accompagné de pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.), et dont la densité du couvert est inférieure à 40 % (Payette 1992, Gouvernement du Québec 2003). Le second étage se caractérise par de grandes étendues de lichens des genres *Cladina* et *Cladonia* associés à des plantes arbustives de la famille des éricacées comme le kalmia à feuilles étroites (*Kalmia angustifolia* L.), le rhododendron du Groenland (*Ledum groenlandicum* Retzius.), le bleuet (*Vaccinium angustifolium* Ait.) et la cassandre caliculée (*Cassandra calyculata* (L.) D. Don.) (Morneau et Payette 1989, Payette 1992). Une analyse préliminaire réalisée en 2001 pour la région du Saguenay—Lac-Saint-Jean Chibougamau Chapais à partir des banques de données de l'inventaire forestier du troisième décennal du Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune a permis d'évaluer pour la première fois l'importance du phénomène dans le territoire régional. Les résultats de cette analyse indiquaient qu'une proportion d'environ 10 % ( $\cong$  1 000 000 ha) du territoire inventorié se retrouvait dans une grande classe forestière non officielle que nous avons nommée milieux ouverts sur stations sèches. Sous ce grand vocable, seuls les dénudés secs, les dénudés secs à lichens et les brûlis mal régénérés ont été extraits

des cartes d'inventaire pour en arriver au résultat de 10 %. Mais il faut prendre conscience que l'expression milieux ouverts sur stations sèches réfère aussi à des peuplements identifiés comme pinède de densité faible (densité D), pessière noire de densité faible (densité D) ou pessière noire à lichens. La fréquence des milieux ouverts dans le domaine de la pessière noire fermée dépasse donc les 10 %.

Il est connu que la présence des milieux ouverts dans le domaine de la pessière à lichens résulte des effets combinés des feux et du climat froid (Hustich 1965, 1966; Lavoie et Sirois 1998). Dans le domaine de la pessière fermée, le processus d'ouverture des forêts fermées vers des forêts ouvertes serait plutôt lié à une succession de perturbations naturelles en rafale, lesquelles rendent difficile l'établissement de la régénération. Par exemple, des feux trop rapprochés dans le temps ou un feu suivant une épidémie d'insectes défoliateurs conduisent au processus d'ouverture (Payette et al. 2000; Côté et Gagnon 2002, Côté 2003 et 2004). La présence, côte à côte, de secteurs de forêts ouvertes et de forêts fermées sur les mêmes dépôts et dans des conditions climatiques et topographiques identiques sont autant d'éléments qui appuient cette nouvelle vision. Les milieux ouverts à lichens constituent donc une forme régressive des forêts fermées caractéristiques du domaine de la pessière à mousses (Payette 1992, Gagnon 1988, Girard 2005).

Ce sont des conditions biotiques et abiotiques inhérentes aux peuplements qui diminueraient le succès reproductif de l'épinette noire (Mallik 1987, Payette 1992, Riverin et Gagnon 1996). Ceci a pour effet de réduire la densité de tiges d'une génération à l'autre

sur le territoire affecté, mais ne diminue pas nécessairement le potentiel du site pour la croissance des tiges. D'ailleurs, les résultats de Côté (2004) ont démontré que les individus croissant dans les milieux ouverts sur stations sèches affichent une croissance comparable à ceux des forêts fermées avoisinantes. Tous ces résultats concernant la construction naturelle des milieux ouverts en forêts fermées du domaine de la pessière noire à mousses laissent croire que la remise en production de ces territoires est envisageable, tant au plan conceptuel que technique.

Les objectifs du projet sont de mesurer la survie et la croissance de semis plantés en 2000 et 2001 dans des milieux ouverts sur stations sèches créés naturellement au sein de forêts fermées du domaine de la pessière noire à mousses. Deux facteurs sont aussi étudiés simultanément, soit l'effet de différents modes de préparation de terrain et l'utilisation de différents gabarits de semis d'épinette noire

Le mode de préparation de terrain le plus souvent rencontré en forêt boréale québécoise lors de l'établissement d'une plantation est le scarifiage (Hébert et al. 2005). Ce type de préparation de terrain est reconnu pour améliorer, à court terme, le succès des plantations par une amélioration des fonctions hydriques des plants et par une minéralisation supérieure des nutriments (Brand 1990, Munson et al. 1993, Prévost 1996, Boucher et al. 1998, 2001). Le scarifiage est aussi reconnu pour limiter la prolifération des éricacées en créant des barrières à l'expansion des rhizomes (Titus et al. 1995, Thiffault et al. 2005). Lorsque le scarifiage à grande échelle est impossible, l'utilisation de la taupe pourrait devenir un traitement sylvicole approprié. Ce type de traitement vise à exposer le

sol minéral dans un rayon de 15 cm (Tremblay 1996). À plus faible échelle, son impact sur la croissance des plants pourrait ressembler à celui du scarifiage, mais ses impacts spécifiques sur les plants forestiers sont très peu connus (Hébert et al. 2005).

Le facteur gabarit de plant fait aussi l'objet de cette étude car le faible niveau de compétition de végétation arborescente dans les milieux ouverts sur stations sèches pourrait permettre l'utilisation de plants de gabarit plus petit. Des plants cultivés en récipient de 126 cavités d'un volume de 25 cm<sup>3</sup> (plants de gabarit 126-25) ont déjà montré leur potentiel de croissance et de survie au sein de la forêt boréale commerciale dans des milieux comme des brûlis récents ou des pessières à mousses récoltés (Walsh et al. 2002). Le recours à ce type de semis permet de doubler la quantité de plants produits par unité de surface et de diminuer le temps de production de six semaines par rapport aux plants les plus petits utilisés jusqu'ici au Québec, soit ceux cultivés dans des récipients de 67 cavités d'un volume de 50 cm<sup>3</sup> (plants de gabarit 67-50). L'emploi de semis de gabarit 126-25 devrait donc diminuer les coûts de production, mais aussi les coûts de transport, puisque 372 960 plants de gabarit 126-25 peuvent être transportés par un semi-remorque, comparativement à 198 320 plants pour ceux cultivés en récipients 67-50. Enfin, les coûts de reboisement pourraient aussi être diminués étant donné que le planteur peut en transporter un nombre plus important à la fois

Afin de répondre aux objectifs du projet, des dispositifs ont été établis de manière à couvrir au maximum les conditions représentatives du territoire régional où il y a présence

de milieux ouverts sur stations sèches. Ce rapport présente les résultats des cinq premières saisons de croissance.

## **MATÉRIEL ET MÉTHODES**

### **Dispositif expérimental**

Des plantations expérimentales ont été réalisées dans 19 blocs sur sept sites situés dans le domaine la pessière noire à mousses (15 blocs) et dans la sapinière à bouleau blanc (4 blocs) (figure 1). Chacun des 19 blocs comprenait un peuplement sur stations sèches et un peuplement pessière noire à mousse (PNM) qui était un site productif coupé récemment et scarifié, situé le plus près possible du peuplement sur station sèche du même bloc. Dans le cadre de ce document, nous allons utiliser l'expression dénudé sec (DS) pour faire référence aux divers types de peuplements ouverts sur stations sèches retrouvés dans nos 19 blocs. Il peut donc s'agir de dénudés secs, de dénudés secs à lichens, de brûlis mal régénéré, de pinède de densité faible (densité D), de pessière noire de densité faible (densité D) ou de pessière noire à lichens.

La croissance et la survie de plants d'épinette noire ont été comparées en fonction des facteurs préparation de terrain et gabarit de plants. Ce dispositif factoriel en tiroirs (split-plot) par blocs était composé, en parcelle principale, des préparations de terrain, qui consistait en trois niveaux pour les dénudés secs (DS): sans préparation de terrain ou plantation directe (SpDS), taupé (TaDS), et scarifié (ScDS), et un niveau pour la PNM qui était le scarifiage suivant une coupe avec protection de la régénération et des sols (CPRS)

(ScPM) (figure 2). Le gabarit des plants, soit ceux de type 67-50 (67 alvéoles de 50 cm<sup>3</sup> de substrat), et des 126-25 (126 alvéoles de 25 cm<sup>3</sup> de substrat) (IPL inc. Québec), était en sous-parcelle.

Le scarifiage est une préparation de terrain qui consiste à enlever la végétation compétitive et la couche de sol organique afin d'exposer le sol minéral en formant un sillon continu d'une largeur approximative de 60 à 80 cm. Les sillons ont été effectués à l'aide d'un scarificateur à disque hydraulique pour tous les sites, à l'exception du site Péribonka où le scarificateur à disque était mécanique.

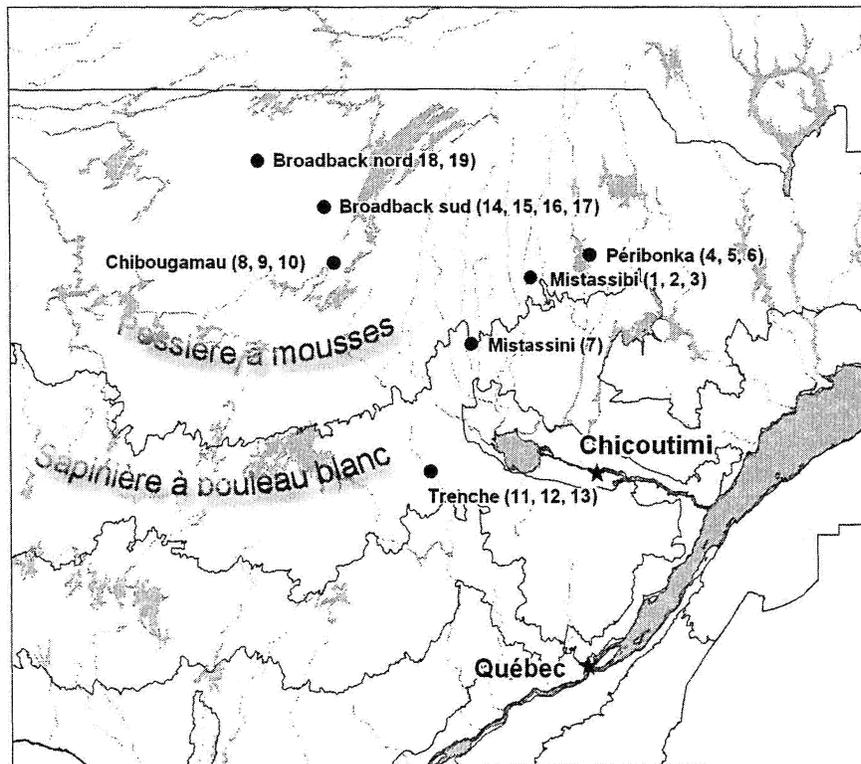


Figure 1 : Localisation des 7 sites et des 19 blocs (numéro entre parenthèses) du dispositif.

## Remise en production des milieux ouverts sur stations sèches : résultats 5 ans après plantation

La taupe pour sa part est une préparation de terrain effectuée à l'aide d'une débroussailleuse modifiée et consiste à créer un microsite de 30 cm de diamètre en enlevant la végétation compétitive et la couche de sol organique afin d'exposer le sol minéral. Les traitements de préparation de terrain ont été réalisés en 2000 pour les blocs 1 à 13, et en 2001 pour les blocs 14 à 19 (tableau 1.)

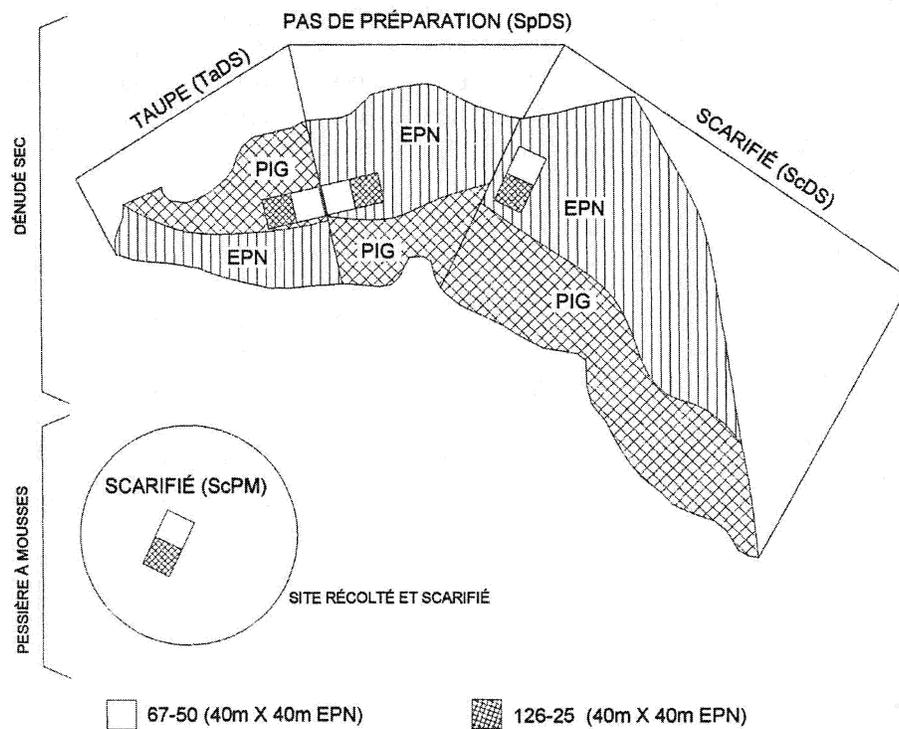


Figure 2 : Exemple de la disposition des parcelles et sous parcelles à l'intérieur d'un bloc du dispositif.

### Matériel végétal

Les plants de la provenance EPN-V8-025-K13-026-96 étaient produits en serres à l'UQAC.

## Remise en production des milieux ouverts sur stations sèches : résultats 5 ans après plantation

**Tableau 1 :** Superficies reboisées (hectare) en fonction des sites, et des traitements de préparation de terrain et de gabarit. Abréviations : SpDS = sans préparation dans dénudé sec (DS), TaDS = taupé dans DS, ScDS = scarifié dans DS, ScPM = Scarifié dans une pessière noire à mousses aménagée, 126-25 = gabarit de plant produit en récipient 126 cavités de 25 cm<sup>3</sup>, 67-50 = gabarit de plant produit en récipient 67 cavités de 50 cm<sup>3</sup>.

Site	Bloc	Coordonnées		Dénudé sec						Pessière à mousses	
		Latitude	Longitude	SpDS		TaDS		ScDS		ScPM	
		Nord	Ouest	126-25	67-50	126-25	67-50	126-25	67-50	126-25	67-50
Mistassibi	1	50.146	71.975	0.15	0.18	0.19	0.18	0.16	0.16	0.15	0.12
	2	49.992	71.966	0.16	0.16	0.15	0.16	0.14	0.15	0.07	0.05
	3	49.987	71.978	0.17	0.17	2.09	0.15	0.17	0.18	0.09	0.08
Péribonka	4	49.987	71.978	0.12	0.16	0.18	0.16	0.29	0.18	0.19	0.20
	5	50.187	71.172	0.14	0.16	0.14	0.15	0.27	0.26	0.18	0.21
	6	50.193	71.193	0.15	0.15	0.13	0.11	0.16	0.15	0.11	0.09
Mistassini	7	49.459	72.633	0.14	0.11	0.17	0.14	0.14	0.15	0.17	0.16
Chibougamau	8	49.981	74.210	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.19	0.17
	9	49.982	74.201	0.15	0.15	0.17	0.16	0.19	0.18	0.14	0.18
	10	49.987	74.195	0.15	0.15	0.16	0.16	0.18	0.17	0.17	0.16
Trenche	11	48.445	73.143	0.16	0.15	0.15	0.15	0.27	0.20	0.19	0.15
	12	48.441	73.130	0.15	0.15	0.14	0.16	0.14	0.18	0.16	0.18
	13	48.458	73.077	0.12	0.14	0.15	0.14	0.19	0.19	0.15	0.20
Broadback	14	50.604	74.461	0.14	0.15	0.18	0.13	0.13	0.08	0.32	0.17
	15	50.574	74.408	0.17	0.14	0.13	0.15	0.24	0.24	0.16	0.20
	16	50.574	74.408	0.12	0.18	0.17	0.11	0.19	0.23	0.14	0.15
	17	50.574	74.408	0.19	0.16	0.19	0.16	0.21	0.19	0.18	0.18
	18	50.934	75.255	0.16	0.15	0.16	0.18	0.17	0.16	0.18	0.19
	19	50.908	75.252	0.17	0.16	0.16	0.15	0.20	0.15	0.24	0.17

### Échantillonnage

Pour chaque combinaison de traitements, une parcelle permanente d'environ 1600 m<sup>2</sup> a été implantée (figure 2). Une centaine de plants ont été choisis aléatoirement, identifiés et localisés après la plantation pour évaluer la survie des plants. Ces plants ont été revisités un an, deux ans et cinq ans après la plantation, et l'état des plants, vivant ou mort, était noté. Le taux de survie était calculé en faisant le rapport du nombre de plants demeurés vivants sur le nombre total de plants au moment de la plantation. À même les plants résiduels, cinq échantillons étaient choisis aléatoirement, un, deux trois et cinq ans

## Remise en production des milieux ouverts sur stations sèches : résultats 5 ans après plantation

après la plantation, pour faire le suivi de la croissance. Ces plants ont été prélevés et apportés au laboratoire. La hauteur totale ( $H_{tot}$ ), la longueur des pousses annuelles et le diamètre au collet ( $D_{col}$ ) étaient mesurés sur les plants frais. Les systèmes racinaires ont été séparés des parties aériennes, lesquelles ont été séchées à l'étuve à 80 °C pendant 48 heures, afin d'obtenir la biomasse sèche de la partie aérienne ( $BS_{tige}$ ).

### Analyses statistiques

Une analyse de variance (ANOVA) à tiroirs subdivisés (split-plot) a été réalisée sur les variables de survie (cinq ans), de hauteur totale ( $H_{tot}$ ), de diamètre au collet ( $D_{col}$ ), de biomasse sèche aérienne ( $BS_{tige}$ ), du ratio hauteur/diamètre (ratio H/D) (cm/mm) et du contenu foliaire en nutriments (N, P, K, Ca, Mg) de plants d'EPN 126-25 et 67-50 cinq ans après plantation. Les traitements de préparation de terrain (Prép./terrain) (4) étaient en parcelle principale et le gabarit de plant (2) était en sous-parcelle. Des taux relatifs de croissance (TRC) ont été calculés pour la biomasse aérienne afin d'analyser les effets des traitements sur le taux de croissance des plants selon la méthode de Poorter et Lewis (1986). Le ratio H/D a été corrigé selon la méthode d'ajustement de Bauce et al. (1994) afin de ne pas déroger aux postulats fondamentaux de l'analyse de variance (Zar 1999).

L'homogénéité de la variance a été vérifiée par l'analyse visuelle de la dispersion des résidus de chacune des variables (Devore et Peck 1994). Des transformations logarithmiques ont été effectuées pour certaines variables afin d'homogénéiser la variance.

Les données des taux de survie ont été transformées en utilisant la formule suivante :  $\text{ArcSin}(\sqrt{\% \text{survie}})$  (Zar 1999).

Les analyses de variances ont été effectuées à l'aide de la procédure MIXED du logiciel SAS, version 8.1 (SAS Institute, Cary, NC). Dans le cas où l'interaction Prép./terrain\*Gabarit s'avérait significative, la procédure <<slicing>> était réalisée afin de déterminer s'il y avait un effet des préparations de terrain pour chacun des gabarits de plants. Une réponse significative permettait la réalisation d'une analyse de variance séparée pour chaque gabarit de plant. Les différences entre les préparations de terrain ont été déterminées par des contrastes *a-priori* (Steel et Torrie 1980). Les différences étaient considérées comme significatives à  $P < 0,05$ . Le bloc 7 a été exclu des analyses, parce que les témoins étaient dans une bétulaie avec une très forte compétition de graminée et qu'il n'y avait qu'un seul bloc dans ce site.

## RÉSULTATS

Dans les dénudés secs (DS), les plants des parcelles SpDS ont un taux de survie significativement inférieur à celui des ScDS cinq ans après la plantation, soit 41,3% par rapport à 85,6% pour les 126-25, et 61,8% par rapport à 92,7% pour les 67-50 (tableau 2 et figure 3). Pour le traitement TaDS, la même tendance est observée mais d'une façon moins importante, les valeurs étant respectivement de 70,6% et de 82,9% pour les 126-25 et les 67-50. Le taux de survie des parcelles scarifiées dans les DS est comparable à celui des parcelles scarifiées dans les PM pour les 126-25 et pour les 67-50.

Le facteur gabarit de plant ressort aussi comme significatif (tableau 2). Le taux de survie global des 67-50 est significativement plus élevé que celui des 126-25, soit 81,7% par rapport à 69,8%. Cependant, la différence provient avant tout des parcelles SpDS 126-25 comparativement aux parcelles SpDS 67-50, les parcelles scarifiées montrant des différences moindres. La mortalité dans les parcelles Sp a particulièrement augmenté entre les échantillonnages à 2 ans et à 5 ans, cet effet temporel étant moins élevé dans les parcelles taupées, lequel l'est encore moins dans les parcelles scarifiées (tableau 3).

**Remise en production des milieux ouverts sur stations sèches : résultats 5 ans après plantation**

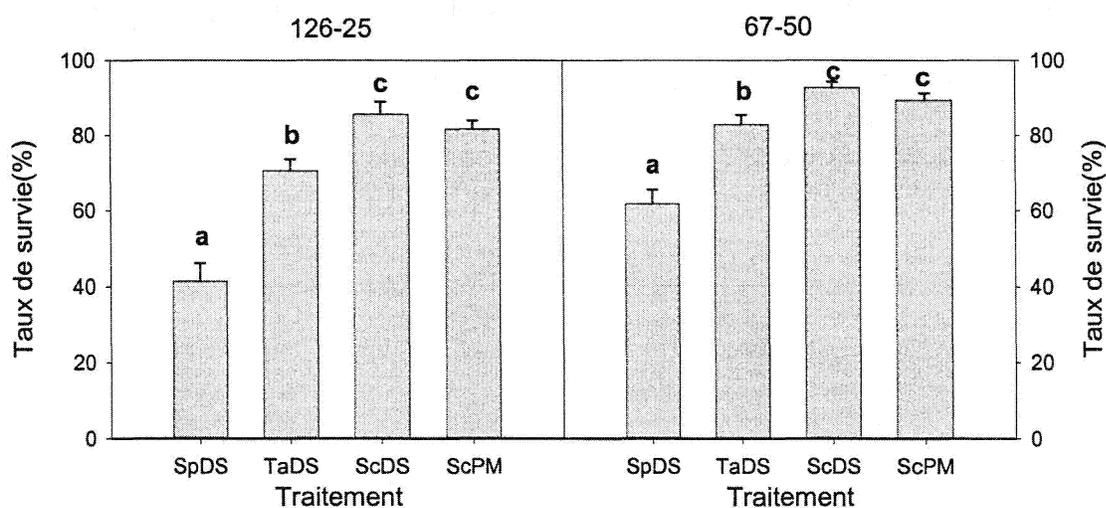
**Tableau 2 :** Résumé de l'analyse de variance (valeurs de  $p$ ) du taux de survie de plants d'EPN cinq ans après plantation. Les facteurs significatifs sont indiqués en caractère gras ( $P < 0,05$ ). dln = degrés de liberté au numérateur. Les abréviations sont présentées au tableau 1.

Source de variation	dln	Survie 5 ans*
Prép./terrain	3	<0,0001
Gabarit	1	<0,0001
Prép./terrain*Gabarit	3	0.1530
<i>Contrastes</i>		
ScDS vs ScPM 67-50	1	0,1652
TaDS vs SpDS 67-50	1	<0,0001
SpDS vs ScDS 67-50	1	<0,0001
ScDS vs ScPM 126-25	1	0,2207
TaDS vs SpDS 126-25	1	<0,0001
SpDS vs ScDS 126-25	1	<0,0001

\*Données transformées : arcsin ( $\sqrt{\text{Survie 5 an}}$ )

**Tableau 3 :** Effet des préparations de terrain et des gabarits de plants sur la survie des plants d'EPN aux échantillonnages 1, 2 et 5 ans après la plantation. Les abréviations sont présentées au tableau 1

Prép./terrain	Taux de survie (%)					
	67-50			126-25		
	1 an	2an	5an	1 an	2an	5an
SpDS	90.8	84.5	61.8	83.7	70.2	41.3
TaDS	95.3	92.6	82.9	93.4	89.7	70.6
ScDS	97.3	95.6	92.7	94.6	90.7	85.6
ScPM	95.4	93.4	89.3	89.8	85.2	81.7



**Figure 3 :** Effet des préparations de terrain et des gabarits de plants sur la survie des plants cinq ans après plantation. Les abréviations sont présentées au tableau 1 (n= 18).

Le scarifiage dans les DS (ScDS) a eu un effet significatif sur la hauteur totale ( $H_{tot}$ ), le diamètre au collet ( $D_{col}$ ) et la biomasse épigée ( $BS_{ti}$ ) des plants cinq ans après plantation par rapport aux traitements SpDS et TaDS, et ce pour les deux gabarits (tableau 4). Les plants SpDS ont une  $BS_{tige}$  qui représente seulement 9,6% de celle des ScDS pour les 67-50 et 13,8% pour les 126-25. Les plants des ScPM ont une  $BS_{tige}$  supérieure aux ScDS, soit 281% pour les 126-25, et 106% pour les plants 67-50, différence qui n'est pas significative pour ce dernier gabarit (figure 4). Pour les plants de gabarit 126-25, les valeurs de  $H_{tot}$  et de  $D_{col}$  des plants ScDS sont significativement supérieures à celles des plants SpDS, respectivement 88,4 % et 167,1 % (figure 5). La même tendance est observée pour les plants de gabarit 67-50 où la  $H_{tot}$  et le  $D_{col}$  des plants des parcelles ScDS sont supérieures de 68,2 % et de 156,8 %. Comme dans le cas de la  $BS_{tige}$ , la croissance des plants en  $H_{tot}$  et en  $D_{col}$  est significativement supérieure dans les ScPM comparativement aux ScDS, sauf pour le  $D_{col}$  des 67-50 (figure 5).

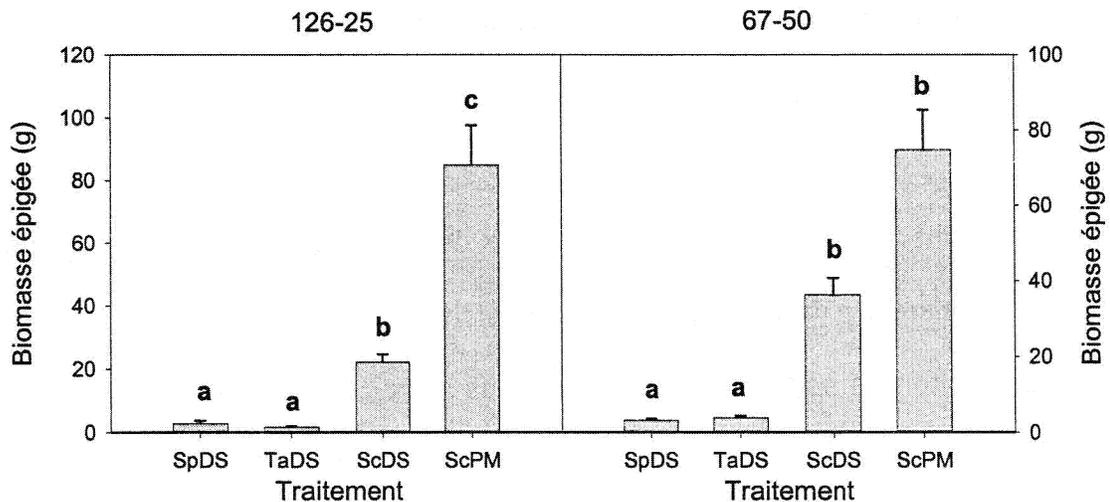
Le gabarit des plants et les préparations de terrain ont eu un effet significatif sur le ratio hauteur/diamètre (ratio H/D). Pour les plants de gabarit 126-25 les 4 niveaux de préparation de terrain sont différents les uns des autres, et diminuent lorsque l'intensité du traitement de préparation de terrain augmente (TaDS < SpDS < ScDS < ScPM) et atteint sa valeur la plus basse dans les parcelles ScPM. Pour les 67-50, le ratio H/D pour les 2 traitements scarifiés, ScDS et ScPM, est différent des traitements TaDS et SpDS, qui ont un rapport H/D plus élevé (tableau 4 et figure 6). Un ratio H/D élevé indique que les plants font proportionnellement plus de croissance en hauteur qu'en diamètre tandis qu'un ratio H/D plus faible indique que les plants sont plus robustes.

**Remise en production des milieux ouverts sur stations sèches : résultats 5 ans après plantation**

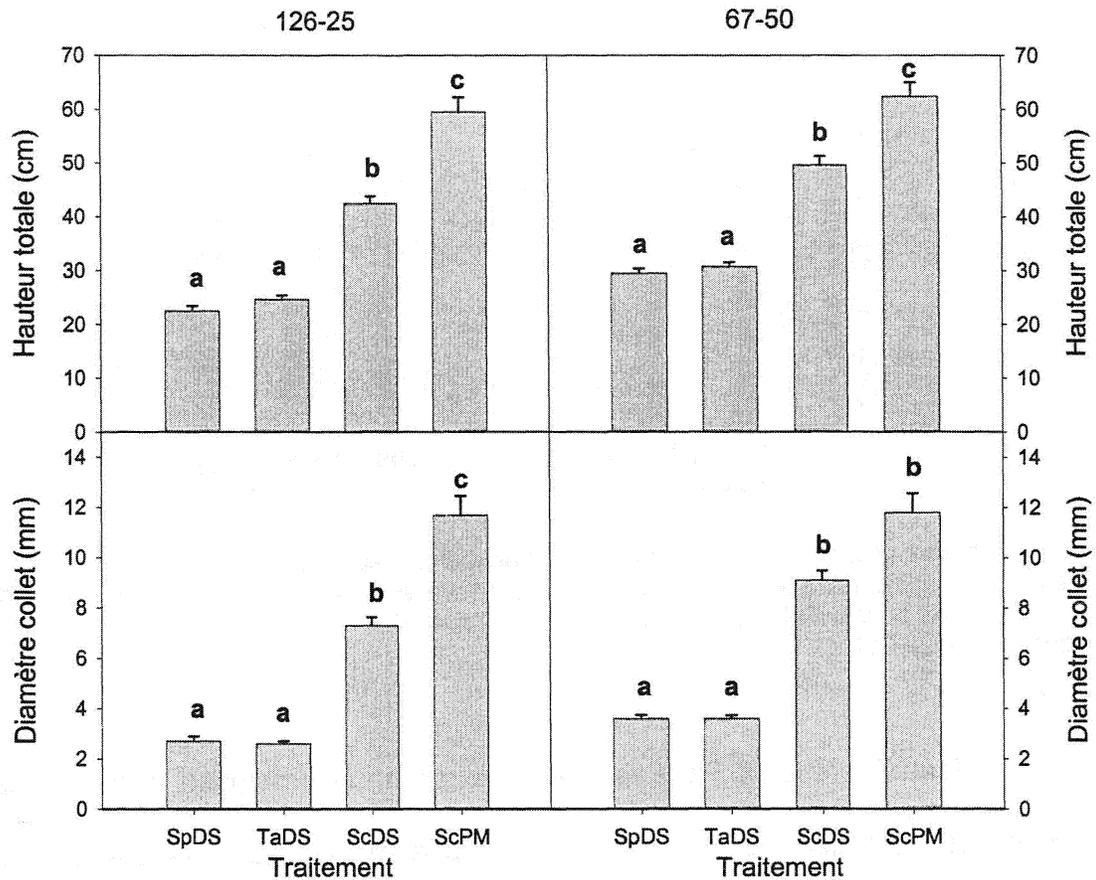
**Tableau 4** : Résumé de l'analyse de variance (valeurs de *P*) de la hauteur ( $H_{tot}$ ), du diamètre au collet ( $D_{col}$ ), de la biomasse sèche aérienne ( $BS_{tige}$ ) et du ratio hauteur/diamètre ( $H/D$ ) de plants d'EPN cinq ans après la plantation. Les valeurs en gras indiquent les résultats significatifs ( $P < 0.05$ ). *dl*<sub>n</sub> = degré de liberté au numérateur. Les abréviations sont présentées au tableau 1.

Source de variation	<i>dl</i> <sub>n</sub>	$H_{tot}^*$	$D_{col}^*$	$BS_{tige}^*$	Ratio $H/D^{**}$
Prép./terrain	3	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Gabarit	1	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0412
Prép./terrain*Gabarit	3	0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0008
<i>Contrastes</i>					
ScDS vs ScPM 67-50	1	0,0067	0,1018	0,0908	0,3534
TaDS vs SpDS 67-50	1	0,4385	0,6313	0,3559	0,3696
SpDS vs ScDS 67-50	1	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
ScDS vs ScPM 126-25	1	0,003	0,0010	0,0007	0,0005
TaDS vs SpDS 126-25	1	0,1183	0,9640	0,5340	<0,0001
SpDS vs ScDS 126-25	1	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

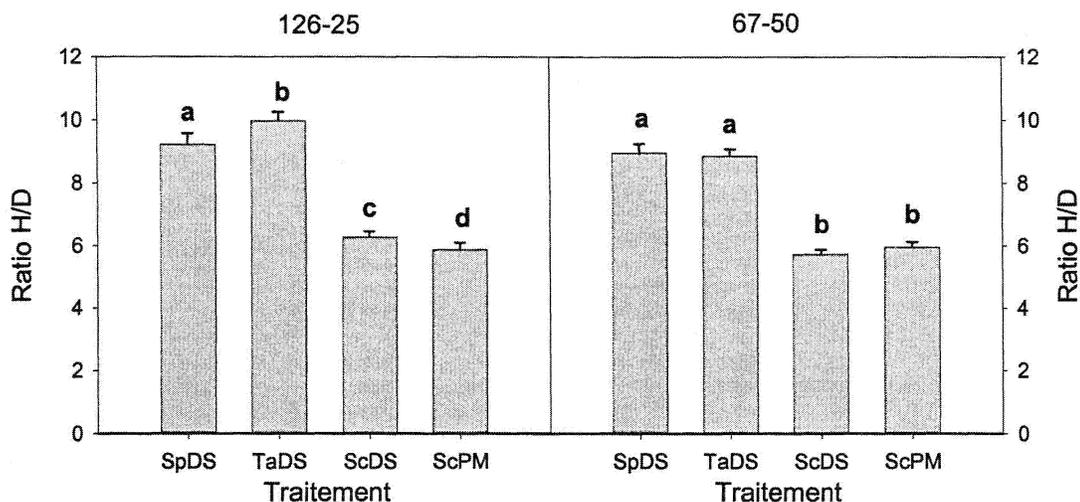
\*Données transformées (ln), \*\*Ratio ajusté



**Figure 4** : Effet des préparations de terrain et des gabarits de plants sur la biomasse sèche épigée ( $BS_{tige}$ ) des plants récoltés cinq ans après plantation. Les abréviations sont présentées au tableau 1, ( $n = 90$  pour TaDS-67-50 et ScPM126-25, 89 pour ScDS-67-50, ScDS-126-25 et TaDS-126-25, 88 pour SpDS-67-50 et ScPM-67-50,  $n = 85$  pour SpDS-126-25).



**Figure 5 :** Effets des préparations de terrain et des gabarits des plants sur la hauteur totale ( $H_{tot}$ ), et le diamètre au collet ( $D_{col}$ ) des plants récoltés cinq ans après plantation. Les abréviations sont présentées au tableau 1, ( $n = 90$  pour TaDS-67-50, et ScPM126-25, 89 pour ScDS-67-50, ScDS-126-25 et TaDS-126-25, 88 pour SpDS-67-50 et ScPM-67-50,  $n = 85$  pour SpDS-126-25).



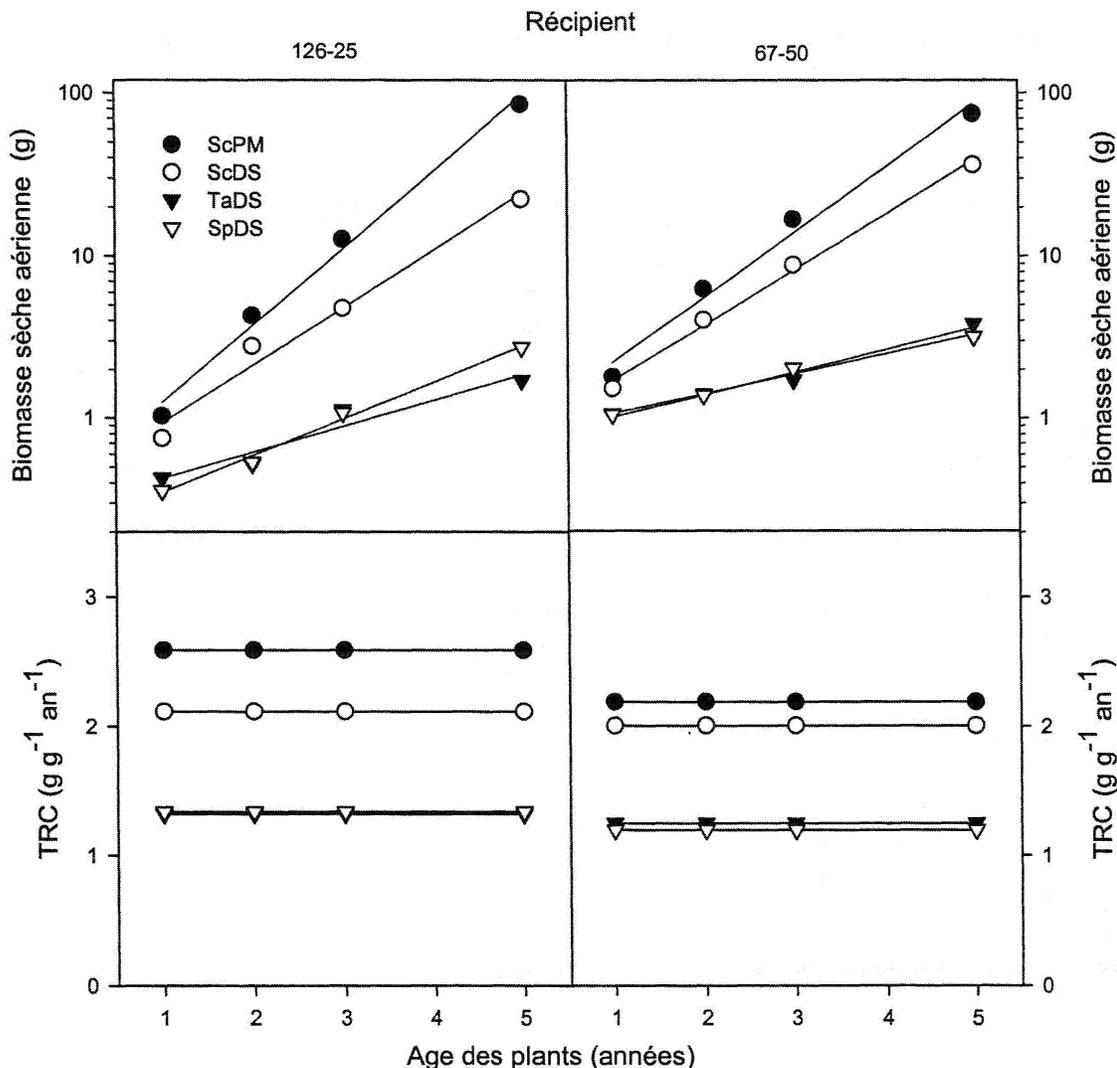
**Figure 6 :** Effet des préparations de terrain sur la variable du ratio hauteur/diamètre (ratio H/D) des plants récoltés cinq ans après plantation. Les abréviations sont présentées au tableau 1 (n = 90 pour TaDS-67-50, et ScPM126-25, 89 pour ScDS-67-50, ScDS-126-25 et TaDS-126-25, 88 pour SpDS-67-50 et ScPM-67-50, n = 85 pour SpDS-126-25).

Le tableau 5 présente l'analyse de variance de la biomasse aérienne transformée pour 4 échantillonnages qui ont eu lieu 1, 2, 3 et 5 ans après la plantation. Tous les facteurs et leurs interactions ont eu un effet significatif sur la biomasse aérienne. En terme de taux relatifs de croissance (TRC), les plants de gabarit 126-25 sont supérieurs à ceux des gabarits 67-50 (figures 7). Pour les 2 gabarits de plants, le TRC augmente en fonction de l'intensité du traitement de préparation de terrain (SpDS < TaDS < ScDS < ScPM). Les plants des parcelles scarifiées ont un TRC qui est pratiquement le double de celui des parcelles TaDS et SpDS. Pour les 67-50, les parcelles scarifiées ont un TRC supérieur à celui des parcelles SpDS et TaDS. Pour les 126-25, le TRC des parcelles PM est supérieur aux parcelles DS, et celui des parcelles SpDS et TaDS est inférieur par rapport aux parcelles scarifiées.

**Remise en production des milieux ouverts sur stations sèches : résultats 5 ans après plantation**

**Tableau 5** : Résumé de l'analyse de variance (valeurs  $p$ ) pour la biomasse aérienne ( $BS_{tige}$ ) et le taux relatif de croissance de la biomasse aérienne ( $TRC_{tige}$ ), correspondant aux contrastes orthogonaux faits sur l'interaction Date\*Prép./terrain pour les plants d'EPN de gabarit 67-50 et 126-25 à quatre dates, soit un, deux, trois et cinq ans après la plantation. Les valeurs en gras indiquent les résultats significatifs ( $P < 0.05$ ). dln = degré de liberté au numérateur. Les abréviations sont présentées au tableau 1.

Source de variation	dln	$BS_{tige}$ *	*Transformation logarithmique (ln)
Prép./terrain	3	<b>&lt;0,0001</b>	
Gabarit	1	<b>&lt;0,0001</b>	
Date	3	<b>&lt;0,0001</b>	
Prép./terrain*Gabarit	3	<b>&lt;0,0001</b>	
Date* Prép./terrain	9	<b>&lt;0,0001</b>	
Date*Gabarit	3	<b>0,0006</b>	
Date* Prép./terrain*Gabarit	9	<b>0,0046</b>	
<i>Contrastes (date* Prép./terrain)</i>		$TRC_{tige}$ *	
ScDS vs ScPM linéaire 67-50	1	0,1100	
ScDS vs SpDS linéaire 67-50	1	<b>&lt;0,0001</b>	
TaDS vs SpDS linéaire 67-50	1	0,2631	
ScDS vs ScPM quadratique 67-50	1	0,2499	
ScDS vs SpDS quadratique 67-50	1	0,1523	
TaDS vs SpDS quadratique 67-50	1	0,4462	
ScDS vs ScPM linéaire 126-25	1	<b>0,0014</b>	
ScDS vs SpDS linéaire 126-25	1	<b>&lt;0,0001</b>	
TaDS vs SpDS linéaire 126-25	1	0,9128	
ScDS vs ScPM quadratique 126-25	1	0,3689	
ScDS vs SpDS quadratique 126-25	1	0,5915	
TaDS vs SpDS quadratique 126-25	1	0,4551	



**Figure 7:** Effet du temps (années) sur la biomasse sèche aérienne et les taux relatifs de croissance (TRC) pour les cinq années de croissances suivant la plantation des plants d'EPN de gabarit 126-25 et 67-50 pour chacun des quatre traitements de préparation de terrain. Les abréviations sont présentées au tableau 1 (n = 84 pour SpDS 126-25, n = 89 pour TaDS 126-25, ScDS 126-25 et ScPM 126-25, n = 88 pour SpDS 67-50, n = 90 pour TaDS 67-50, n = 89 pour ScDS 67-50, et n = 88 pour ScPM 67-50).

Les concentrations foliaires en azote sont significativement différentes et augmentent en fonction de l'intensité du traitement de préparation de terrain (tableau 6), passant de 6.94 g/kg pour les parcelles SpDS à 7.58, 8.43 et 9.49 g/kg respectivement pour les parcelles TaDS, ScDS et ScPM (figure 8). Les concentrations de phosphore

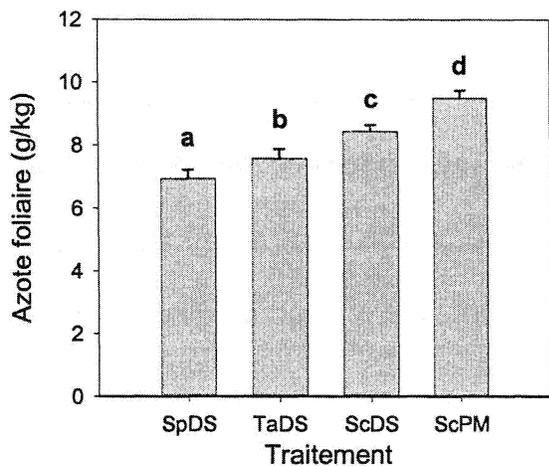
**Remise en production des milieux ouverts sur stations sèches : résultats 5 ans après plantation**

foliaire est 4.7% plus élevé dans les 126-25 par rapport aux 67-50, mais il n'y a pas d'effet de préparation de terrain (Tableau 6 et figure 9). Les parcelles scarifiées (ScDS et ScPM) ont une concentration foliaire en potassium plus élevée pour les 2 gabarits de plants, et les parcelles SpDS ont une concentration inférieure au TaDS pour les 126-25 mais pas pour les 67-50. Les traitements n'ont pas affecté la concentration foliaire de calcium pour les 126-25, et pour les 67-50, seulement les ScPM ont une valeur supérieure au ScDS (tableau 6 et figure 10).

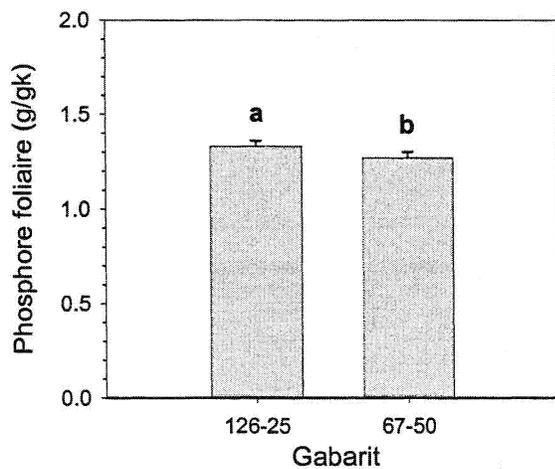
**Tableau 6** : Résumé de l'analyse de variance (valeurs de  $p$ ) du contenu foliaire en azote, phosphore, potassium, calcium et magnésium de plants d'épinettes noires cinq ans après plantation. Les valeurs en gras indiquent les résultats significatifs ( $p < 0.05$ ). dln = degré de liberté au numérateur. Les abréviations sont présentées au tableau 1.

Source de variation	dln	Azote	Phosphore	Potassium	Calcium	Magnésium
Prép./terrain	3	<b>&lt;0,0001</b>	0,2105	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,0457</b>	0,2554
Gabarit	1	0,2716	<b>0,0395</b>	<b>0,0255</b>	<b>0,0007</b>	0,5879
Prép./terrain*Gabarit	3	0,8869	0,0884	0,9127	0,7633	0,6868
<i>Contrastes</i>						
ScDS vs ScPM	1	<b>0.0023</b>	-	-	-	-
TaDS vs SpDS	1	<b>0,0189</b>	-	-	-	-
SpDS vs ScDS	1	<b>&lt;0,0001</b>	-	-	-	-
ScDS vs ScPM 67-50	1	-	-	0.6720	<b>0.0386</b>	-
TaDS vs SpDS 67-50	1	-	-	0.0806	0.0607	-
SpDS vs ScDS 67-50	1	-	-	<b>0.0039</b>	0.2916	-
ScDS vs ScPM 126-25	1	-	-	0.4789	0.2537	-
TaDS vs SpDS 126-25	1	-	-	<b>0.0173</b>	0.3320	-
SpDS vs ScDS 126-25	1	-	-	<b>0.0013</b>	0.9507	-

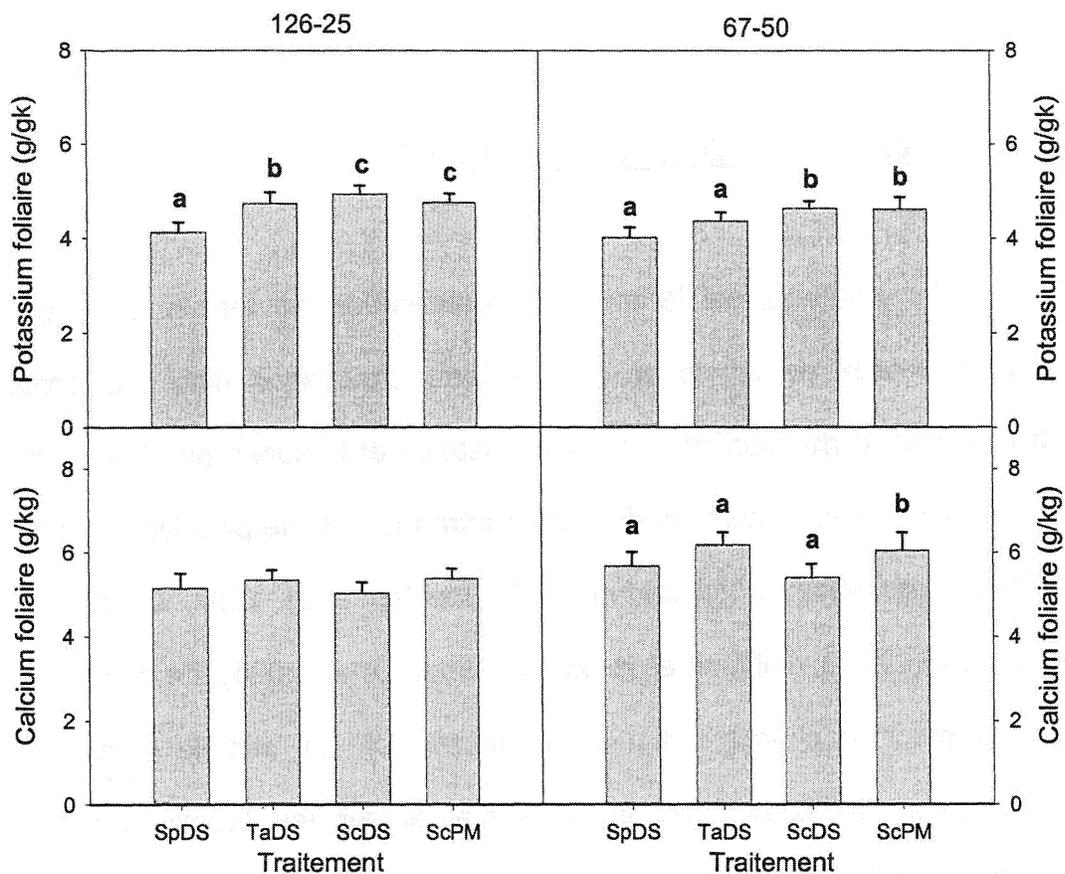
**Remise en production des milieux ouverts sur stations sèches : résultats 5 ans après plantation**



**Figure 8 :** Effet des préparations de terrain sur le contenu en azote foliaire (g/kg) cinq ans après la plantation. Les abréviations sont présentées au tableau 1 ( n = 36 ).



**Figure 9 :** Effet du gabarit des plants sur le contenu en phosphore foliaire (g/kg) cinq ans après la plantation. Les abréviations sont présentées au tableau 1 ( n = 72 ).



**Figure 10 :** Effet des préparations de terrain et du gabarit des plants sur le contenu en potassium foliaire (g/kg) et en calcium foliaire (g/kg) cinq ans après la plantation. Les abréviations sont présentées au tableau 1 (n = 18).

## DISCUSSION

### Impact des modes de préparation de terrain dans les DS

Dans les DS le scarifiage est le mode de préparation de terrain qui a permis d'obtenir les meilleurs taux de survie et la plus forte croissance cinq ans après la plantation. L'effet bénéfique du scarifiage sur la croissance et la survie des jeunes plants de conifères en phase d'établissement est donc démontré une fois de plus (voir les travaux de Bassman 1989, Grossnickle et Heikurinen 1989, Boucher et al. 1998, Örlander et al. 1998, Bedford et Sutton 2000, Thiffault et al. 2003, Hébert et al. 2005). Le scarifiage est reconnu pour augmenter la charge radiative sur le sol, ce qui stimule la croissance racinaire et l'absorption de nutriments, en plus d'améliorer les fonctions hydriques (Bassman 1989, Bowen 1991, Lyr et Garbe, 1995, Boucher et al. 1998, 2001, Hébert et al. 2005). D'ailleurs, les plants des parcelles scarifiées dans les DS ont une plus grande concentration foliaire en nutriments que ceux des parcelles taupées et sans préparation de terrain. Le ratio H/D plus bas chez les plants des parcelles scarifiées par rapport aux deux autres traitements dans les DS peut être un reflet d'un meilleur statut hydrique et nutritionnel (Girard 2004, Hébert et al. 2005). La diminution de l'influence de la compétition sur la disponibilité en nutriments, l'interférence sur la colonisation des mycorhizes et l'interférence allélopathique devraient aussi être considérées pour expliquer, au moins en partie, les impacts positifs du scarifiage (Lanini et Radosevich 1986, Mallik 1993, Zhu et Mallik 1994, Bradley et al. 1997, Yamasaki et al. 1998, 2002).

La taupe a provoqué une augmentation du taux de survie des plants comparativement aux parcelles sans préparation de terrain, mais leur croissance était inférieure à celle mesurée sur les plants des parcelles scarifiées. La différence de croissance observée entre les plants des parcelles non scarifiées et scarifiées dans les DS pourrait être attribuable aux fonctions hydriques favorables retrouvées dans les parcelles scarifiées en comparaison avec les parcelles taupées et sans préparation de terrain (Hébert et al. 2005). Pourtant, d'un point de vue opérationnel, la taupe est reconnue comme un outil intéressant pour la création de microsites pour plantation. L'absence d'impact positif de la taupe pourrait être reliée au plus faible niveau de perturbation du microsite comparativement au passage d'un scarificateur. En retirant la végétation compétitive dans un rayon de 15 cm, la taupe réduit l'épaisseur de la matière organique non décomposée ou partiellement décomposée. Cette couche est parfois tellement épaisse que le microsite contient peu ou pas d'horizon minéral en association avec de l'humus bien décomposé. Enfin, la méthode utilisée (débrousailleuse) a créé une grande hétérogénéité de microsites.

De plus, les microsites formés à l'aide de la taupe ont tendance à être recolonisés rapidement par la végétation de compétition, perdant ainsi les avantages qu'elle devait leur procurer au plan de la croissance des plants mis en terre. S'il s'avérait que c'est bien la fermeture rapide des microsites formés par la taupe qui cause la plus faible croissance des plants reboisés comparativement à ceux plantés dans les sillons de scarifiage, il deviendra important de vérifier si le même effet ne se produira pas dans quelques années avec le scarifiage comme mode de préparation de terrain dans les milieux ouverts sur stations

## Remise en production des milieux ouverts sur stations sèches : résultats 5 ans après plantation

sèches. En effet, les sillons de scarifiage sont aussi envahis de nouveau par la végétation de compétition, sauf que le délai est généralement beaucoup plus long, souvent de cinq ans et plus selon nos observations. Rappelons que nos résultats de croissance ont été pris cinq ans après plantation. D'autre part, le rythme passablement rapide de croissance des plants mis en terre dans les parcelles scarifiées et leur densité élevée (environ 2 000 tiges à l'hectare) laissent croire que ceux-ci vont rapidement influencer la composition même de la végétation au sol, entre autres par un effet d'interception de la lumière. Si tel est le cas, la densité des lichens des genres *Cladina* et *Cladonia* pourrait diminuer significativement puisqu'il s'agit d'organismes fortement héliophiles (Brodo et al. 2001). En résumé, Les résultats démontrent clairement l'obligation de préparer le terrain de façon agressive, même si le recouvrement végétatif des milieux ouverts sur station sèche apparaît souvent comme un manteau plutôt mince de lichens et de mousses transpercé par une densité fort variable de tiges d'éricacées.

## Comparaison entre les DS scarifiés et les PNM aménagées

La survie des plants cinq ans après plantation sont comparables entre les parcelles scarifiées des deux milieux (ScDS et ScPM). Cinq ans après la plantation, les semis plantés dans les ScPM montrent toutefois une croissance significativement plus élevée que ceux plantés dans les ScDS. Le gain mesuré n'est pas encore très important au plan opérationnel, mais il pourrait le devenir si les différences annuelles observées jusqu'ici se maintenaient. De plus, la variabilité entre les sites, les blocs et les individus est très élevée. Ce dernier élément confirme l'obligation que nous avons de bien suivre ces parcelles à

long terme afin de mesurer les individus qui deviendront éventuellement les dominants. Seule cette mesure donnera l'IQS de chacun des blocs pour chacun des modes de préparation de terrain. Malheureusement, des études récentes indiquent que cette mesure pourra difficilement être obtenue avant la fin de la période de croissance juvénile chez l'épinette noire, soit une période de 15 à 20 ans après plantation (Lord et al. 2005). D'ici là, le suivi par la moyenne des individus échantillonnés demeurera le meilleur indicateur.

Les contenus foliaires en azote et en calcium des plants sont différents entre les deux milieux. Cette différence entre les deux milieux, en termes d'influence de la compétition, pourrait être expliquée par un historique de perturbation différente causée par la récolte des PM avant le scarifiage (Girard 2004, Hébert et al. 2005). Les ScPM ayant subi plus de perturbations, l'influence de végétation compétitive pourrait être plus faible en comparaison avec les ScDS. Comme le contrôle de la végétation compétitive et le niveau de perturbation est corrélé positivement dans ce type d'écosystème, l'influence de la végétation compétitive serait plus faible dans les ScPM que dans les ScDS, spécialement avec la grande capacité d'envahissement des éricacées caractéristiques de ces milieux ouverts (Mallik 1993, Brais 2001, Harvey et Brais 2002, Thiffault et al. 2004). Mais tout ceci reste à être confirmé.

D'autres facteurs, non testés, pourraient aussi expliquer la différence de croissance entre les deux milieux scarifiés, comme la présence de lichens dans les DS qui ont un effet d'albédo et qui peuvent ainsi diminuer la charge radiative du milieu. Cette diminution de la charge radiative pourrait retarder le début de la saison de croissance, accentuer la

possibilité de gels et limiter la croissance de plants de conifères (Kershaw et Rouse 1971, Kaspar et Bland 1992, Boucher et al. 2001).

### Comparaison entre les deux gabarits de plants

Les taux de survie des plants cultivés en récipients 126-25 sont généralement moins élevés que ceux retrouvés pour les plants cultivés en récipients 67-50. Les différences sont particulièrement importantes pour les parcelles non scarifiées, soit celles où la préparation de terrain avant plantation a été la moins agressive. Pour les parcelles scarifiées, les taux de survie après cinq ans des 126-25 demeurent toujours plus petits, mais dépasse quand même les 80 %. Le succès de la plantation semble donc assurer dans toutes les parcelles scarifiées, que ce soit celles de la pessière à mousse ou celles des dénudés secs.

Les plants cultivés en récipients 126-25 présentent des taux relatifs de croissance (TRC) plus élevés que leurs équivalents cultivés en récipients 67-50. Le rythme supérieur de croissance des plants 126-25 lors des cinq années suivant la plantation leur permet donc de diminuer graduellement l'écart de hauteur et de diamètre face aux plants 67-50. Étant donné le plus jeune âge et le stade physiologique moins avancé des plants 126-25 lors de la plantation, ceux-ci pourraient avoir une plus grande plasticité physiologique leur permettant de s'acclimater à leur nouvel environnement plus rapidement que les plants 67-50. Une expérience de simulation de plantation avec le pin gris a révélé que les plants 126-25 produisaient plus de nouvelles racines non lignifiées que les plants 67-50

(Tremblay, 2004). Si le même résultat valait pour l'épinette noire, cette particularité aurait pu être accentuée par le scarifiage étant donné les effets bénéfiques de ce traitement sur la croissance racinaire (Boucher et al. 2001). Cette quantité accrue de nouvelles racines leur procurant de meilleurs apports en eau et en nutriments, ceci résulterait en une production supérieure de biomasse aérienne.

## CONCLUSION

Les premiers résultats de cette étude à long terme valident l'idée de remettre en production des milieux ouverts sur stations sèches du domaine de la pessière noire à mousses. En effet, les résultats obtenus cinq ans après la plantation de plusieurs sites ouverts répartis en forêt boréale du Saguenay-Lac-St-Jean font état d'un taux de survie fort adéquat des plants, ainsi que d'une croissance appréciable. Il faut tout de même conserver à l'esprit que cette étude constitue une première étape en vue de l'identification et de l'optimisation des meilleures pratiques sylvicoles à appliquer pour la remise en production des milieux ouverts sur stations sèches (DS). D'autres études menées sur une partie du dispositif utilisé ici ont déjà permis de constater que les fonctions hydriques des plants croissant dans ces milieux, qui sont des variables critiques pour l'établissement et la croissance des plants, ne diffèrent pas de celles obtenues en pessières à mousses lorsque les terrains sont scarifiés (Hébert et al. 2005). Mais seul un suivi à long terme des dispositifs permanent installés dans le cadre de cette étude permettra de confirmer les tendances fort positives exprimées par ces premiers résultats

Il serait peut-être envisageable d'augmenter le niveau de perturbation du milieu en récoltant préalablement les DS avant de les scarifier ou encore d'employer des méthodes de préparation de terrain plus agressives afin d'augmenter le niveau de perturbation (Prévost 1996, Örlander et al. 1998, Brais 2001). Au lieu d'utiliser la taupe comme traitement alternatif au scarifiage, il serait envisageable d'utiliser un traitement dont le

niveau de perturbation du microsite serait plus élevé comme, par exemple, une excavatrice munie d'un peigne. Les résultats montrent également que l'utilisation de plants issus de récipients 126-25 serait appropriée dans ces milieux (DS) où la compétition pour la lumière n'est pas un facteur limitant pour la croissance (Girard 2004). Finalement, le pin gris pourrait représenter une alternative intéressante pour le reboisement de certains types de milieux, surtout dans ceux situés sur des sols à drainage excessifs comme des dépôts fluvioglaciaires (Hébert et al. 2005).

Les variables de survie, de croissance et de contenu foliaire en nutriments des plants mis en terre dans les DS démontrent qu'il est possible de reboiser ces territoires avec succès, du moins pour les cinq premières années. De plus, les TRC obtenus à l'aide de ce dispositif situé dans des milieux considérés comme improductifs, équivalent à la croissance de certaines plantations «normales» situées dans des territoires de la pessière à mousse qualifiés de productif. Ces résultats portent donc à croire que les DS montrent un potentiel de productivité inexploité qui mériterait une attention particulière.

Étant donné leur statut particulier de milieux improductifs et/ou fragiles, les DS ne sont actuellement pas inclus dans les calculs de possibilité forestière. Il serait donc intéressant de poursuivre la recherche sur ce genre de site afin de déterminer l'impact de la remise en production de ces milieux et de pouvoir éventuellement leurs attribuer une certaine productivité et les inclure dans les calculs de possibilité forestière.

## Remise en production des milieux ouverts sur stations sèches : résultats 5 ans après plantation

En fonction des essences utilisées pour le reboisement et, en raison des superficies en cause, ces territoires représentent une avenue des plus intéressantes pour l'amélioration du rendement des forêts du Québec. En plus de contribuer au rendement forestier, la remise en production de ces sites aidera aussi au maintien de l'élément de plus significatif de la diversité biologique en forêt boréale québécoise, soit la forêt fermée d'épinette noire du vaste domaine de la pessière à mousse. Enfin, dans cette ère de protocole de Kyoto et de gaz à effet de serre, la remise en production de territoires forestiers mal régénérés pourrait représenter une avenue intéressante pour la création de puits de carbone, et ainsi permettre au Québec de contribuer encore plus à l'effort mondial de séquestration du carbone.

## RÉFÉRENCES

- Bassman, J.H. 1989. Influence of two site preparation treatments on ecophysiology of planted *Picea engelmannii* X *glauca* seedlings. *Can. J. For. Res.* 19: 1359-1370.
- Bauce, E., Crépin, M., et Carisey, N. 1994. Spruce budworm growth, development and food utilization on young and old balsam fir trees. *Oecologia* 97: 499-507.
- Bedford, L., et Sutton, R.F. 2000. Site preparation for establishing lodgepole pine in the sub-boreal spruce zone of interior British Columbia: the Bednesti trial, 10-year results. *For. Ecol. Manage.* 126: 227-238.
- Boucher, J.-F., Bernier, P.Y., et Munson, A.D. 2001. Radiation and soil temperature interactions on the growth and physiology of eastern white pine (*Pinus strobus* L.) seedlings. *Plant Soil* 236: 165-174.
- Boucher, J.F., Wetzel, S., et Munson, A.D. 1998. Leaf level response of planted eastern white pine (*Pinus strobus* L.) seven years after intensive silvicultural treatments. *For. Ecol. Manage.* 107: 291-307.
- Bowen, G.D. 1991. Soil temperature, root growth, and plant function. *In* Plant roots: The hidden half. Marcel Dekker, Inc., New-York (USA). pp. 309-330.
- Bradley, R.L., Fyles, J.W., et Titus, B. 1997. Interactions between *Kalmia* humus quality and chronic low C inputs in controlling microbial and soil nutrient dynamics. *Soil Biol. Biochem.* 29: 1275-1283.

- Brais, S. 2001. Persistence of soil compaction and effects on seedling growth in northwestern Quebec. *Soil Sci. So. Am. Jour.* 65: 1263-1271.
- Brand, D.G. 1990. Growth analysis of responses by planted white pine and white spruce to changes in soil temperature, fertility and brush competition. *For. Ecol. Manage.* 30: 125-138.
- Brodo, I.M., Sharnoff, S.D. et Sharnoff, S. 2001. *Lichens of north America*. 1e édition, Yale
- Côté, D., 2003. Expansion des milieux ouverts à lichens dans le domaine de la pessière à mousses. Dans : *Les enjeux de biodiversité relatifs à la composition forestière*, P. Grondin et A. Cimon, coordonnateurs. Ministère des Ressources naturelles , de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière et Direction de l'environnement forestier. p. 175 à 190
- Côté, D., 2004. Mise en place des landes forestières dans le domaine des forêts commerciales d'épinette noire (*Picea mariana* [Mill.] BSP.) et potentiel de ces milieux pour la production forestière. Chicoutimi, Québec. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi. 107 p.
- Côté, D. et Gagnon, R. 2002. *Régression des forêts commerciales d'épinette noire (Picea mariana [Mill.] BSP.), à la suite de feux successifs*. Actes du colloque : L'aménagement forestier et le feu, Chicoutimi 9 et 10 avril 2002. Ministère des Ressources naturelles, Direction de la conservation des forêts : 162.
- Devore, J., et Peck, R. 1994. *Introductory statistics*. 2<sup>nd</sup> edition. 2<sup>nd</sup> ed. West Publishing Company, St. Paul, MN, USA.

- Gagnon, R. 1988. Les mécanismes de régénération naturelle de l'épinette noire: applications pratiques en aménagement. Colloque "Les mécanismes de régénération naturelle de l'épinette noire: applications pratiques en aménagement". Chicoutimi, le 18 août 1988 : 1-11.
- Girard, F. 2004. Remise en production des pessières à lichens de la forêt boréale commerciale : nutrition et croissance de plants d'épinette noire trois ans après traitements de préparation de terrain. Mémoire de maîtrise. UQAC. 56p.
- Girard, F. 2005. Répartition spatiale et abondance de la pessière à lichens dans la zone de la forêt fermée. Conférence, Association Canadienne-Française pour l'avancement des sciences (ACFAS). Chicoutimi.
- Gouvernement du Québec. 2003. règlement sur les normes d'intervention dans les forêts du domaine de l'état. Loi sur les forêts. Les publications du Québec. Gouvernement du Québec (Canada): 1-143.
- Grossnickle, S.C., et Heikurinen, J. 1989. Site preparation: water relations and growth of newly planted jack pine and white spruce. *New For.* 3: 99-123.
- Harvey, B., et Brais, S. 2002. Effects of mechanized careful logging on natural regeneration and vegetation competition in the southeastern Canadian boreal forest. *Can. J. For. Res.* 32: 653-666.
- Hébert, F., Boucher, J-F., Bernier, P.Y., et Lord, D. 2005. Growth response and water relations of three-year-old planted black spruce and jack pine seedlings in site prepared lichen woodlands. *For. Ecol. Manage.* Sous révision

- Hustich, I. 1965. A black spruce feather moss forest in the interior of southern Quebec-Labrador Peninsula. *Acta Geographica*. 18 : 25 p.
- Hustich, I. 1966. On the forest-tundra and the forest tree-lines. Reports from the Kevo subarctic Research station. *Ann. Univ. Turku. A* 11. 36 :7-47.
- Kaspar, T. C., et Bland, W. L. 1992. Soil temperature and root growth. *Soil Sci.* 154(4), 290-299.
- Kershaw, K.A., et Rouse, W.R. 1971. Studies on lichen-dominated systems. II The growth pattern of *Cladonia alpestris* and *Cladonia rangiferina*. *Can. J. Bot.* 49: 1401-1410.
- Lanini W.T., et Radosevich S.R. 1986. Response of three conifer species to site preparation and shrub control. *Forest Sci.* 32: 61-77.
- Lavoie, L. et Sirois, L. 1998. Vegetation changes caused by recent fires in the northern boreal forest of eastern Canada. *J. Veg. Sci.* 9 : 483-492.
- Lord, D., Hébert, F. Boucher, J-F. et Krause, C. 2005. Phase juvenile de croissance et détermination du rendement de plantation d'épinette noire (*Picea mariana* Mill. (B.S.P.)) de la forêt boréale commerciale. Conférence, Association Canadienne-Française pour l'avancement des Sciences (ACFAS), Chicoutimi.
- Lyr, H., et Garbe, V. 1994. Influence of root temperature on growth of *Pinus sylvestris*, *Fagus sylvatica*, *Tilia cordata* and *Quercus robur*. *Trees* 9: 210-213.
- Mallik, A.U. 1987. Allelopathic potential of *Kalmia angustifolia* to black spruce (*Picea mariana*). *For. Ecol. Manage.* 20:43-51.

- Mallik, A.U. 1993. Ecology of a forest weed of Newfoundland: vegetative regeneration strategy of *Kalmia angustifolia*. Can.J.Bot. 71: 161-166.
- Morneau, C. et Payette, S. 1989. Postfire lichen-spruce woodland recovery at the limit of the boreal forest in northern Quebec. Can. J. Bot. 67 : 2 770-2 782.
- Munson, A.D., Margolis, H.A., et Brand, D.G. 1993. Intensive silvicultural treatment : impacts on soil fertility and planted conifer response. Soil Sci. Soc. Am. J. 57 : 246-255.
- Örlander, G., Hallsby, G., Gemmel, P., et Wilhelmsson, C. 1998. Inverting improves establishment of *Pinus contorta* and *Picea abies*-10-year results from a site preparation trial in Northern Sweden. Scand. J. For. Res. 13: 160-168.
- Payette, S. 1992. Fire in the North American boreal forest. In System analysis of the global forest. Edited by H.H. Shugart, R. Leemans, and G. B. Bonan. Cambridge University Press, Cambridge, U.K. pp. 144-169.
- Payette, S., Bhiry, N., Delwaide, A. et Simard, M. 2000. Origin of the lichen woodland at its southern range limit in eastern Canada : The catastrophic impact of insect defoliators and fire on the spruce-moss forest. Can. J. For. Res. 30 : 288-305.
- Poorter, H., et Lewis, C. 1986. Testing differences in relative growth rate: A method avoiding curve fitting and pairing. Physiol. plant. 67: 223-226.
- Prévost, M. 1996. Effet du scarifiage sur les propriétés du sol et l'ensemencement naturel dans une pessière noire à mousses de la forêt boréale québécoise. Can. J. For. Res. 26: 72-86.

- Riverin, S. et Gagnon, R. 1996. Dynamique de la régénération d'une pessière à lichen dans la zone de la pessière noire à mousse, nord du Saguenay-Lac-Saint-Jean (Québec). *Can.J.For.Res.* 26 : 1504-1509.
- Steel, R.G.D., et Torrie, J.H. 1980. Principles and procedures of statistics: a biometrical approach. 2nd ed. McGraw-Hill Publishing Company, New-York, U.S.A.
- Thiffault, N., Jobidon, R. et Munson, A.D. 2003. Performance and physiology of large containerized and bare-root spruce seedlings in relation to scarification and competition in Québec (Canada). *Ann. For. Sci.* 60: 645-655.
- Thiffault, N., Cyr, G., Prigent, G., Jobidon, R., et Charrette, L. 2004. Régénération artificielle des pessières noires à éricacées : effets du scarifiage, de la fertilisation et du type de plants après 10 ans. *For. Chron.* 80, 141-149.
- Thiffault, N., Titus, B.D. et Munson, A.D. 2005. Silvicultural options to promote seedling establishment on *Kalmia-Vaccinium*-dominated sites. *Scan. J. For. Res.* 20:110-121.
- Titus, B.D., Sidhu, S.S. et Mallik, A.U. 1995. A summary of some studies on *Kalmia angustifolia* L.: A problem species in Newfoundland forestry. Information report N-X-296. St-John's NF: Service canadien des forêts, Ressources Canada.
- Tremblay, P.S. 1996. Manuel de foresterie. Les presses de l'Université Laval, Québec. 1428p.
- Tremblay, P. 2004. Fonctions hydriques et échanges gazeux du pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.) cultivés en récipients IPL 126-25 et IPL 67-50 soumis à un stress hydrique progressif. Rapport initiation recherche. UQAC. 23 pages.

- Walsh, D., Allaire, J. et Lord, D. 2002. Performance en plantation de plants d'épinette noire de petites dimensions: Rapport d'étape pour la période 2001-2002. Université du Québec à Chicoutimi, 26 p.
- Yamasaki, S.H., Fyles, J.M., et Titus, B.D. 2002. Interaction among *Kalmia angustifolia*, soil characteristics, and the growth and nutrition of black spruce seedlings in two boreal Newfoundland plantations of contrasting fertility. *Can. J. For. Res* 32: 2215-2224.
- Yamasaki S. H., Fyles J. W., Egger K. N., et Titus B. D. 1998. The effect of *Kalmia angustifolia* on the growth, nutrition and ectomycorrhiza symbiont community of black spruce. *For. Ecol. Manage.* 105: 197-207.
- Zar, J.H. 1999. *Biostatistical analysis*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Zhu, H., et Mallik, A.U. 1994. Interactions between *Kalmia* and black spruce: Isolation and identification of allelopathic compounds. *J. Chem. Ecol.* 20 : 407-421.

