



## **Croissance racinaire des plants d'épinette blanche : irrigation, fertilisation et/ou génétique?**

Sylvie Carles<sup>1</sup>, Debra Stowe<sup>1</sup>, Mohammed Lamhamedi<sup>2</sup>, Jean Beaulieu<sup>3</sup>, Fabienne Colas<sup>2</sup>, Bertrand Fecteau<sup>4</sup>, Pierre Bernier<sup>5</sup> et Hank Margolis<sup>1</sup>

### **Résumé**

*Au Québec, environ 28 millions de plants d'épinette blanche (ÉPB) sont plantés chaque année. La grande variabilité génétique et la sensibilité de cette essence aux variations des teneurs en eau et de la fertilité du substrat peuvent expliquer la présence d'une hétérogénéité spatiale prononcée en matière de croissance des plants (2+0). Cette hétérogénéité complique l'atteinte, par les pépiniéristes, de certaines normes de qualité des plants, notamment celles concernant le système racinaire. Les régies de fertilisation et d'irrigation ont un effet sur le développement des systèmes racinaires et peuvent influencer leur durcissement à l'automne. L'insuffisance racinaire peut être causée par le gel. Pour préciser les effets de ces facteurs sur la croissance des racines d'ÉPB en pépinière, une étude a été menée par la direction de la recherche forestière, l'Université Laval et deux pépinières forestières privées.*

*Ainsi, nous avons étudié l'effet de trois régies d'irrigation (30, 40 et 55% v/v) sur la croissance et l'acquisition de la tolérance au gel des racines des plants d'épinette blanche (2+0) produits sous tunnel. Nous avons par ailleurs évalué la variabilité génétique des caractéristiques morphologiques, notamment, racinaires, des plants d'ÉPB (1+0) et (2+0), représentant 75 familles uni-parentales, et soumis à deux niveaux de fertilisation.*

*Les résultats de cette étude devraient permettre de raffiner les pratiques culturales en pépinières et d'identifier et de sélectionner des familles performantes en matière de croissance racinaire.*

### **Abstract**

*Approximately 28 million white spruce (WS) seedlings are planted in the province of Québec annually. The large genetic variability and the sensitivity of this species to variations in substrate water content and fertility may explain the presence of a pronounced spatial heterogeneity in terms of (2+0) seedling growth. This heterogeneity makes it difficult for nursery managers to attain certain quality criteria, notably those involving the root system. Irrigation and fertilisation regimes have an effect on the development of the root system and may also influence seedling hardening in autumn. To clarify the effects of these factors on root growth of nursery*

<sup>1</sup> Faculté de foresterie et de géomatique, Pavillon Abitibi Price, Université Laval, Québec, QC, Canada G1V 0A6.

<sup>2</sup> Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 2700 rue Einstein, Québec, QC, Canada G1P 3W8

<sup>3</sup> Centre canadien sur la fibre de bois, Service canadien des forêts, 1055 du P.E.P.S., C.P. 10380, Stn. Sainte-Foy, Québec, QC, Canada G1V 4C7.

<sup>4</sup> Pampev inc. 662 rang St.-François, St.-Louis-de-Blandford, QC, Canada. G0Z 1B0.

<sup>5</sup> Centre canadien sur la fibre de bois, Service canadien des forêts, 1055 du P.E.P.S., C.P. 10380, Succ. Sainte-Foy, Québec, QC, Canada G1V 4C7.

grown white spruce seedlings, a study was conducted by la Direction de la recherche forestière (MRNF), Université Laval and two private forest nurseries.

To this end, we studied the effect of three irrigation regimes (30, 40 and 55% v/v) on the growth and acquisition of frost tolerance of the root systems of (2+0) white spruce seedlings produced under tunnel conditions. We then evaluated the genetic variability in the morphological characteristics, notably those of the roots, of (1+0) and (2+0) white spruce seedlings from 75 half-sib families, which had been subjected to two different fertilisation regimes.

The results of this study will permit nursery cultural practices to be refined and families with the best root growth characteristics to be identified.

## Problématique

L'épinette blanche (ÉPB) est une des principales essences forestières plantées au Québec. En 2007, 26 millions de plants d'ÉPB ont été ensemencés dans les pépinières au Québec. Plus de la moitié (59 %) de ces plants sont des plants de fortes dimensions (PFD) cultivés en récipients. L'épinette blanche se caractérise par une grande variabilité génétique (Lamhamedi et al. 2000a; Li et al. 1997), une sensibilité à la teneur en eau et à la richesse minérale du substrat ainsi qu'une hétérogénéité spatiale prononcée en matière de croissance des plants (2+0) (Lamhamedi et al. 2006) (Photo 1).



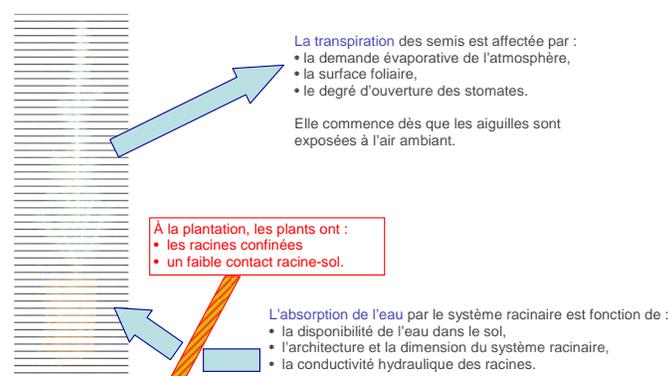
Photo 1 : Plants d'épinette blanche du même âge de la même famille et soumis à des pratiques culturales identiques

En plantation, parmi les différents stress environnementaux auxquels les plants devront faire face, les plants sont soumis à un stress hydrique résultant, en partie, d'un contact insuffisant entre le sol et les racines (Figure 1). L'établissement, la survie et la croissance des plants forestiers sur les sites de plantations sont donc intimement liés à leur capacité à développer de nouvelles racines (Grossnickle 2005).

Avant d'être livrés sur les sites de reboisement, les plants forestiers résineux devront respecter les critères et les normes de qualité définis par la Direction générale des pépinières et des stations piscicoles (DGPSP) du ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF). Sept de ces 23

critères concernent les systèmes racinaires des plants. Parmi ces critères, l'insuffisance racinaire a conduit, ces dernières années, au plus de rejets de PFD d'ÉPB (DGPSP, MRNF, janvier 2004).

Figure 1 : adaptée de Grossnickle 2005



## Insuffisance racinaire

L'insuffisance racinaire se caractérise par une trop faible quantité de racines vivantes et s'évalue principalement par le degré de colonisation de la carotte de tourbe (DGPSP, MRNF, 2006) (photos 2 et 3).



Photos 2 et 3 : Plants d'ÉPB rejetés pour insuffisance racinaire (photo : Étienne Turgeon)

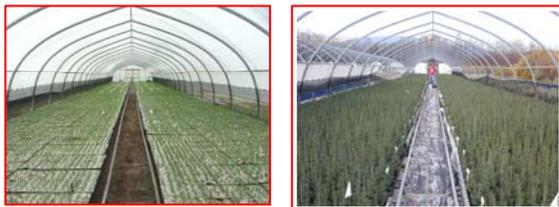
C'est ce critère qui garantit que le système racinaire soit suffisamment développé pour permettre l'extraction complète de la carotte et pour résister aux manipulations normales qui sont inhérentes à la

mise en terre des plants. L'insuffisance racinaire peut être causée par le gel automnal (Bigras and Dumais 2005) ou par des techniques et des régies de cultures inadéquates.

La croissance racinaire est sous contrôle génétique (Danjon et al. 2000; Mari et al. 2003; Kormanik et al. 1990) et est influencée par les régies de fertilisation et d'irrigation en pépinière forestière (Lamhamedi et al. 2001; Landis et al. 1989; Gilman 1990).

### L'effet de trois régies d'irrigation sur la morphophysologie des plants d'ÉPB

Un dispositif (6 blocs aléatoires complets) a été installé en conditions opérationnelles de croissance, sous un tunnel de polyéthylène non-chauffé à



*Photos 4 et 5: Dispositif expérimental sous tunnel de polyéthylène.*

Pampev Inc. (Saint Louis de Blanford, QC) (photos 4 et 5) pour mieux cerner l'effet de trois régies d'irrigation (30, 40 et 55% v/v;  $\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O}/\text{cm}^3$  substrat) sur :

- la morphologie (hauteur, diamètre, masses sèches des parties aériennes et des racines) et la physiologie (échanges gazeux) des PFD d'ÉPB (2+0) produits en IPL-350A;
- la formation et le développement des bourgeons;
- l'acquisition de la tolérance au gel automnal des parties aériennes et des racines;
- le lessivage des éléments nutritifs et les pertes en eau sous les récipients.

Les 3 régies d'irrigation ont été maintenues constantes pendant la 2<sup>ème</sup> saison de croissance des plants. La fertilisation a été gérée en fonction des besoins des plants et de la fertilité du substrat et maintenue identique entre les 3 régies d'irrigation.

#### La morphologie

La morphologie et la croissance des semis, ainsi que les concentrations en éléments minéraux (N, P, K, Ca et Mg) du substrat et des semis ont été

évaluées à onze reprises entre la mi-avril et la fin d'octobre.

#### Le lessivage des éléments nutritifs et les pertes en eau sous les récipients

La solution lessivée sous 1 récipient/bloc/régie d'irrigation a été collectée de façon continue entre juillet et octobre 2002. Le lessivage des éléments minéraux (N- $\text{NO}_3$ , N- $\text{NH}_4$ , P, K, Ca et Mg) a été déterminé par analyse de la solution lessivée (photo 6).



*Photo 6: quadrat de plastique installé sous un récipient pour collecter la solution lessivée en continu.*

#### La formation et le développement des bourgeons

La cinétique de formation des bourgeons a été évaluée à partir du 1<sup>er</sup> août (photo 7).



#### L'acquisition de la tolérance au gel automnal

La tolérance des semis d'épinette blanche (2+0) au gel hâtif a été déterminée en fonction de la réponse des plants à des tests de gel, artificiels et contrôlés avec précision, à l'aide d'un congélateur programmable (Zhu et al. 2002). Les plants ont été récoltés à quatre dates d'échantillonnage (16 et 30 septembre; 14 et 28 octobre) et ont été soumis à 5 traitements de congélation (+4°C, -4°C, -8°C, -12°C et -20°C). Le substrat a été maintenu autour des racines afin de se rapprocher des conditions en pépinière.



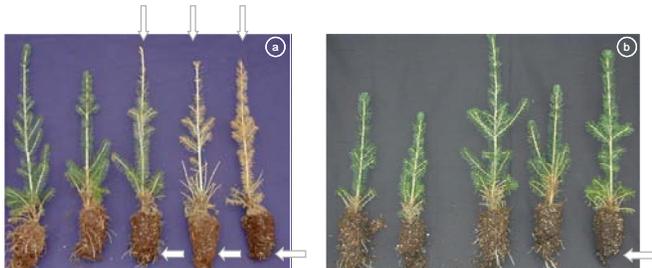
*Photo 8 : Mesure de la conductivité électrolytique*

Les dommages occasionnés par le gel aux parties aériennes et aux parties racinaires ont été évalués respectivement par la conductivité électrolytique (Flint et al. 1967 ; Colombo and Glerum 1984; Glerum 1985) (photo 8) et la perte en eau des racines (Ritchie 1990) (photos 9 et 10).



*Photos 9 et 10 : Mesure des pertes d'eau des racines*

Suite à chaque test de gel artificiel, deux plants/bloc/température ont été rempotés pour évaluer la reprise des plants (photo 11).



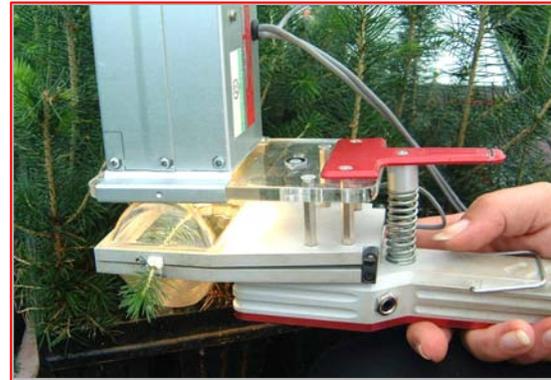
*Photo 11 : Plants d'ÉPB (2+0) soumis à différentes températures de gels artificiels (+4°C : témoin; -4°C, -8°C, -12°C et -20°C) à deux dates différentes : (a) 16 septembre et (b) 28 octobre*

### La physiologie

Les échanges gazeux ont été mesurés les 2<sup>ème</sup>, 4<sup>ème</sup>, 11<sup>ème</sup> et 20<sup>ème</sup> jour suivant le rempotage (photo 12).

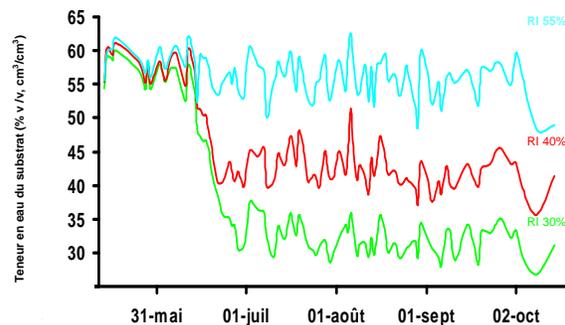
Après 21 jours de croissance, les dommages causés à la partie aérienne (masse sèche des aiguilles brunies/masse sèche totale des aiguilles) (photo 16) et la capacité de croissance des racines

(Colombo and Glerum 1984; Lamhamedi et al. 2000b) (photo 11) ont été mesurés par une méthode destructive (masse sèche des racines blanches/masse sèche totale des racines).



*Photo 12 : Mesure des échanges gazeux*

### RÉSULTATS



*Figure 2 : Teneur en eau du substrat (% v/v) pour chaque régie d'irrigation*

Le maintien de la régie d'irrigation (RI) 55% a nécessité l'utilisation de 20% plus d'eau que la régie 40% (figure 2).

Le volume de la solution lessivée a varié en fonction de la teneur en eau du substrat. Trois fois plus d'eau et d'azote (N) ont été lessivés sous la RI 55% que sous la RI 40%.

Les semis soumis aux trois régies d'irrigation ont montré un taux de croissance et des caractéristiques morphologiques semblables à la fin de la 2<sup>ème</sup> saison de croissance. La diminution des régies d'irrigation n'a pas affecté de façon significative :

- la croissance en hauteur des plants (figure 3a);
- la masse sèche des racines (figure 3b);
- le contenu tissulaire en azote (figure 3c);
- l'allocation de carbone entre les parties aérienne et racinaire (figure 4);
- le développement des bourgeons.

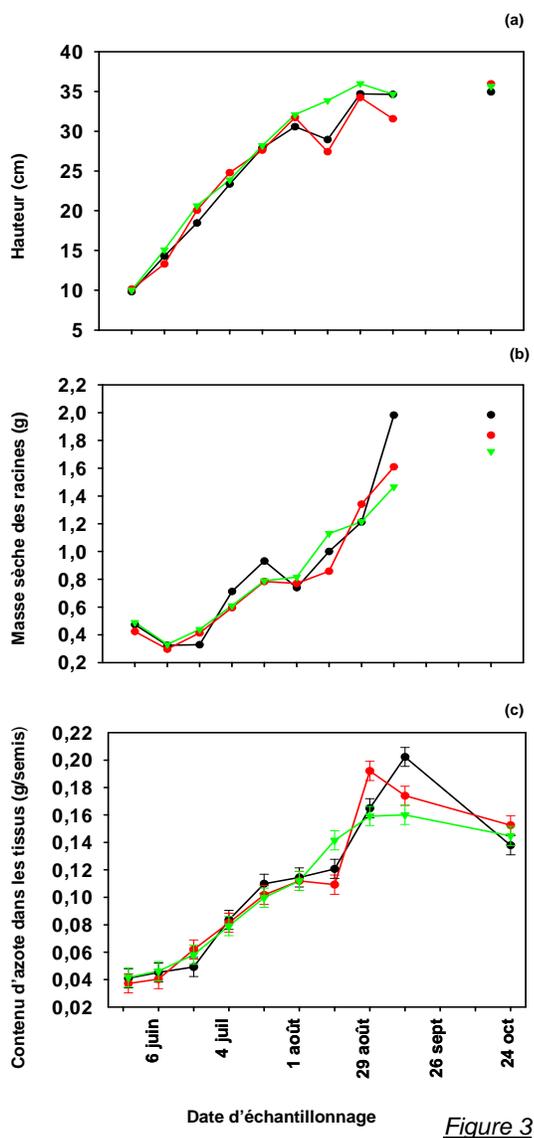


Figure 3

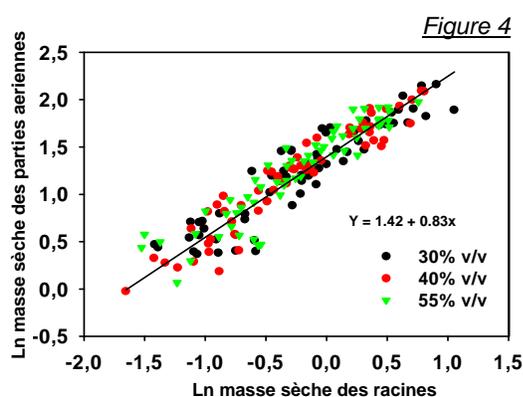


Figure 4

En réponse aux tests de congélation artificielle, les analyses statistiques ont montré l'absence d'un effet significatif des régies d'irrigation sur les variables physiologiques (conductivité électrolytique, perte en eau des racines, échanges

gazeux) et morphologiques (dommages à la partie aérienne, capacité de croissance des racines) des plants. Les températures de gel que les plants étaient capables de supporter sans dommages apparents, ont diminué au cours de l'automne (photo 11). L'identification de ces températures de gel seuils que les plants sont capables de supporter sans dommages apparents et l'évaluation de taux journaliers d'acquisition de tolérance au gel au cours de l'automne permettront l'élaboration de chartes d'endurcissement des plants (2+0) d'ÉPB (figure 5). Ces chartes, déjà disponibles pour les plants d'ÉPB (1+0) (Lamhamedi et al. 2005) permettront aux pépiniéristes de cibler les périodes de risque et d'optimiser les moyens de protection contre le gel.

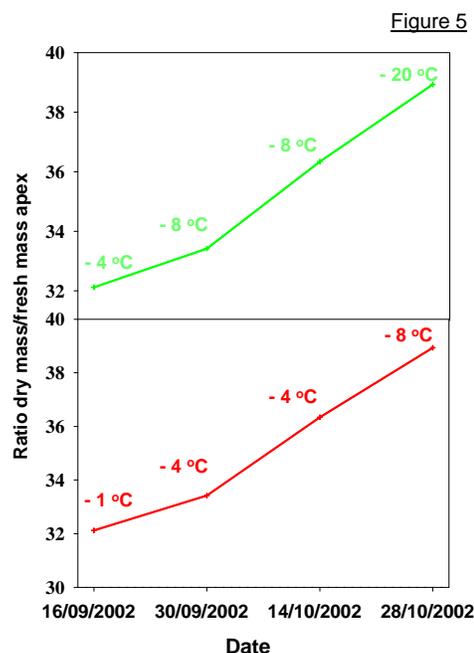


Figure 5

### Variabilité familiale des caractéristiques morphophysologiques des semences et des plants (1+0) et (2+0) d'ÉPB

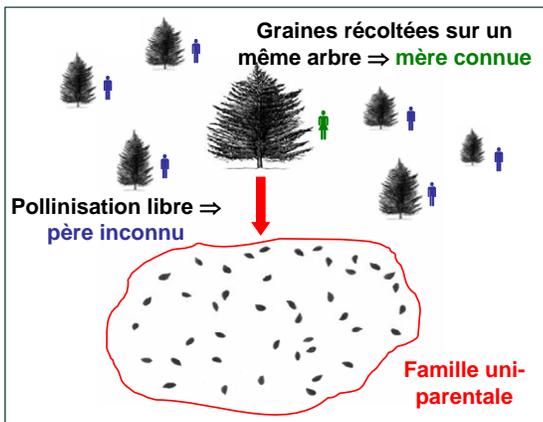
Afin de déterminer si l'amélioration génétique pourrait aider à résoudre la problématique de l'insuffisance racinaire des PFD d'ÉPB cultivés en récipient, nous avons comparé des semences et des plants (1+0) et (2+0) représentant 75 familles uni-parentales d'ÉPB.

Nos objectifs étaient (i) d'évaluer la variabilité familiale et déterminer l'héritabilité des caractères morphologiques et physiologiques des semences et des plants (1+0) et (2+0) issus de lots de graines

représentant 75 familles d'épinette blanche, (ii) de préciser l'effet de la fertilisation sur l'architecture des systèmes racinaires et (iii) de déterminer la stabilité des familles en réponse à des fertilités de substrat différentes.

Les résultats présentés ici ne concernent que les plants qui ont reçu une fertilisation optimale et donc l'objectif (i).

La population étudiée représentait 75 familles uni-parentales d'ÉPB (figure 6).



Les 75 familles correspondent à 75 arbres pollinisés librement du parc d'hybridation de Cap Tourmente, (47° 04' N, 70° 50' O) sur lesquels les cônes ont été récoltés. Les caractéristiques des semences (longueur, largeur, surface projetée, et masse de 100 semences), ainsi que leur pourcentage de germination et valeur germinative ont été évalués (photo13).

Les plants ont été produits dans un dispositif installé sous un tunnel non chauffé au Centre de production de plants forestiers de Québec (CPPFQ) (Sainte-Anne-de-Beaupré, QC). La toile du tunnel a été maintenue pendant la 1<sup>ère</sup> saison de croissance.

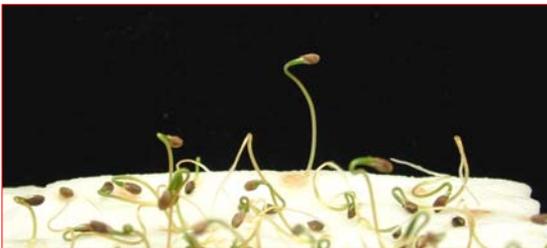


Photo 13 : Test de germination de semences d'ÉPB en conditions contrôlées

L'ensemencement a été réalisé manuellement dans des récipients IPL 15-320 dans un mélange tourbe vermiculite (3:1) la semaine du 7 juin 2004. La teneur en eau du substrat a été maintenue à un

niveau proche de 40 % (v/v) pendant les deux saisons de croissance. Pendant la première saison de croissance, les plants ont été soumis à deux traitements de fertilisation différents (optimal vs faible). Pendant la 2<sup>ème</sup> saison de croissance, la même fertilisation a été appliquée à l'ensemble du dispositif. À la fin de la 2<sup>ème</sup> saison de croissance, les quantités d'azote, de phosphore et de potassium appliquées étaient respectivement de 402,32 mg/plant, 99,77 mg/plant et 154,22 mg/plant.

Un échantillonnage destructif a été réalisé à la fin de la 1<sup>ère</sup> saison de croissance (25 octobre 2004) et un autre à la fin de 2<sup>ème</sup> saison de croissance (31 octobre 2005). Les caractéristiques suivantes ont été évaluées : hauteur, diamètre, masses sèches, longueur des aiguilles, surface foliaire, et contenus en éléments nutritifs. L'architecture du système racinaire des plants (1+0) a été caractérisée à l'aide d'un système intégré de numérisation et d'analyse d'images utilisant le logiciel WINRHIZO (Instruments Regent Inc., Québec) (photo 14).

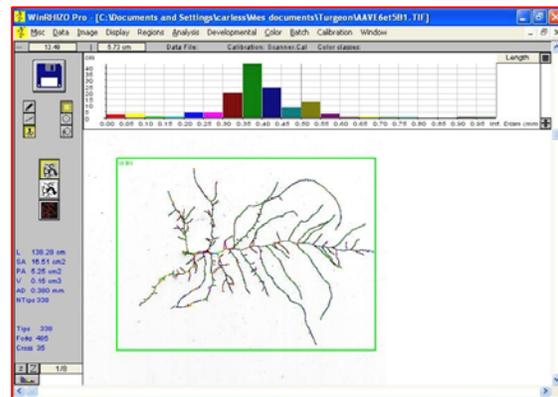


Photo 14 : Image numérisée du système racinaire d'un plant d'ÉPB (1+0) analysée par le logiciel Winrhizo ©

À la fin de la deuxième saison de croissance, les systèmes racinaires étaient devenus trop volumineux et trop complexes pour pouvoir être caractérisés de la même façon. C'est pourquoi une description plus succincte, incluant la longueur de la racine principale (par rapport à la hauteur de la cavité) et les caractéristiques des racines latérales de premier ordre de diamètre supérieur au égal à 2 mm (nombre total, angle d'insertion et nombre de directions horizontales distinctes) a été réalisée (photo 15).



Photo 15 : description de la morphologie du système racinaire d'un plant d'ÉPB (2+0)

Afin de pouvoir généraliser nos résultats à d'autres semis d'ÉPB produits selon les pratiques culturales standard, les paramètres génétiques (héritabilités et corrélations génétiques) et les moyennes des familles ont été calculés en considérant les blocs ayant reçu une fertilisation optimale.

## RÉSULTATS

Les caractéristiques morphologiques et physiologiques des semences diffèrent de façon significative entre les familles. Le pourcentage de variance expliquée par la variance familiale est compris entre 51% (longueur rectiligne semence) et 98% (masse de 1000 semences) (tableau 1).

À la fin de la première saison de croissance en pépinière, des différences significatives entre les familles ont été observées pour presque toutes les caractéristiques morphologiques aériennes et racinaires des plants (tableau 1) à l'exception du diamètre au collet, de la capacité photosynthétique à l'automne et du contenu total en azote.

À la fin de la deuxième saison de croissance, seuls la hauteur, le ratio entre les masses sèches des racines et des parties aériennes, la longueur et la surface des aiguilles diffèrent significativement entre les familles (tableau 1). Par ailleurs, la corrélation significative et négative entre les moyennes familiales des hauteurs (2+0) et les moyennes familiales du ratio des masses sèches racines/tiges des plants (2+0) indique que les familles les plus hautes ont, proportionnellement, moins de racines.

| Caractère  | Moyenne (toutes familles confondues) | % de variance expliquée par variance inter-familles | Taux de significativité de l'effet familial<br>Pr Z |
|--|--------------------------------------|---|---|
| <b>SEMENCES</b>  |                                      |   |   |
| Longueur (mm)  | 2.83                                 | 51.42   | <.0001  |
| Largeur (mm)   | 1.56                                 | 40.43   | <.0001  |
| Surface projetée (mm <sup>2</sup> )                    | 3.23                                 | 53.04   | <.0001  |
| Masse 1000 semences (g)                                | 2.59                                 | 97.68   | <.0001  |
| % de germination                                       | 83.4                                 | 88.61   | <.0001  |
| Valeur germinative                                     | 18.95                                | 88.90   | <.0001  |
| <b>PLANTS (1+0)</b>                                    |                                      |   |   |
| Hauteur (cm)   | 5.18                                 | 19.4  | <.0001  |
| Diamètre (mm)  | 1.65                                 | 4.2   | n.s.  |
| Masse sèche des parties aériennes (g)                  | 0.33                                 | 14.1  | 0.0010  |
| Masse sèche des racines (g)                            | 0.17                                 | 7.5   | 0.0221  |
| Ratio masses sèches racines/tiges                      | 0.52                                 | 11.92   | 0.0010  |
| Longueur des aiguilles (mm)                            | 11.91                                | 26.68   | 0.0009  |
| Surface foliaire projetée par semis (cm <sup>2</sup> ) | 15.37                                | 15.77   | 0.0215  |
| Contenu en N (mg/semis)                                | 10.63                                | 7.73  | n.s.  |
| Contenu en P (mg/semis)                                | 1.62                                 | 13.4  | 0.0266  |
| Contenu en K (mg/semis)                                | 5.39                                 | 16.91   | 0.0163  |
| Longueur totale des racines (cm)                       | 487                                  | 12.57   | 0.0189  |
| Diamètre moyen des racines (mm)                        | 0.45                                 | 18  | 0.0088  |
| Surface projetée des racines (cm <sup>2</sup> )        | 21.77                                | 12.03   | 0.0236  |
| <b>PLANTS (2+0)</b>                                    |                                      |   |   |
| Hauteur (cm)   | 33.25                                | 16.46   | 0.0013  |
| Diamètre (mm)  | 6.18                                 | 4.77  | n.s.  |
| Masse sèche des parties aériennes (g)                  | 8.22                                 | 0   | n.s.  |
| Masse sèche des racines (g)                            | 2.75                                 | 2.51  | n.s.  |
| Ratio masses sèches racines/tiges                      | 0.34                                 | 17.89   | 0.0003  |
| Longueur des aiguilles (mm)                            | 11.68                                | 14.43   | 0.0261  |

Les analyses en cours mettent donc en évidence que l'effet famille est moins important à la fin de la deuxième saison de croissance qu'à la fin de la première saison de croissance. En comparant les moyennes familiales des caractéristiques des semences et les moyennes familiales des caractéristiques des plants (1+0) et (2+0), il semble que cette diminution de l'effet famille est attribuable, en partie, à la diminution de l'effet maternel entre la première et la deuxième saison de croissance; l'effet maternel étant l'effet que la taille de la graine (masse de 1 000 graines) a sur la croissance d'un plant. Par exemple 36% de la variance familiale de la masse sèche des racines à la fin de la 1<sup>ère</sup> saison de croissance s'expliquent par une variance familiale qui existait déjà au stade de la semence. D'autre part, l'influence des variables environnementales (eau, éléments nutritifs, volume de la cavité, etc.) augmente quand l'âge (et la taille) des plants augmente. La croissance d'un plant en récipient n'est pas une croissance libre puisque le développement latéral des parties aériennes est limité par les plants voisins et le développement des racines est limité par le volume de la cavité. Il est ainsi possible que le diamètre au collet, la masse des parties aériennes et la masse des racines ne diffèrent pas entre les familles parce que les meilleures familles n'ont pas eu la « place » d'exprimer tout leur potentiel.

**Références bibliographiques**

- Bigras, F.J. and D. Dumais 2005. Root-freezing damage in the containerized nursery: impact on plantation site - A review. *New Forests*. 30:167-184.
- Colombo, S.J. and C. Glerum 1984. Winter injury to shoots as it affects root activity in black spruce containers seedlings. *Can. J. For. Res.* 14:31-32.
- Danjon, F., D. Pot, A. Raffin and F. Courdier 2000. Genetics of root architecture in 1-year-old *Pinus pinaster* measured with the WinRHIZO image analysis system: preliminary results. *In* The supporting roots of trees and woody plants: form, function and physiology Ed. A. Stokes. Kluwer academic publishers, Netherlands, pp. 77-81.
- Flint, H.L., B.R. Boyce and D.J. Beattie 1967. Index of injury - a useful expression of freezing injury to plant tissues as determined by the electrolytic method. *Can. J. Plant Sci.* 47:229-230.
- Gilman, E.F. 1990. Tree root growth development. II. Response to culture, management and planting. *J. Environ. Hort.* 8:220-227.
- Glerum, C. 1985. Frost hardiness of coniferous seedlings: principles and applications. *In* Evaluating seedling quality: principles procedures, and predictive abilities of major tests. Ed. M.L.e. Duryea. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis.
- Grossnickle, S.C. 2005. Importance of root growth in overcoming planting stress. *New Forests*. 30:273-294.
- Kormanik, P.P., J.L. Ruehle and H.D. Muse 1990. Frequency distribution and heritability of first-order lateral roots in loblolly pine seedlings. *Forestscience*. 36:802-814.
- Lamhamedi, M., M. Renaud and L. Veilleux 2005. Élaboration des seuils de tolérance au gel des plants d'épinette blanche (1+0) en pépinière forestière selon les régions écologiques du Québec - Mémoire de recherche n°147. Gouvernement du Québec - Ministère des Ressources naturelles - Forêt Québec - Direction de la recherche forestière, Sainte Foy, p. 53 p.
- Lamhamedi, M.S., H. Chamberland, P.Y. Bernier and F.M. Tremblay 2000a. Clonal variation in morphology, growth, physiology, anatomy and ultrastructure of container-grown white spruce somatic plants. *Tree Physiology*. 20:869-880.
- Lamhamedi, M.S., L. Labbé, H.A. Margolis, D.C. Stowe, L. Blais and M. Renaud 2006. Spatial variability of substrate water content and growth of white spruce seedlings. *Soil Sci. Soc. Am. J.* accepted for publication in January 2006 issue
- Lamhamedi, M.S., G. Lambany, H.A. Margolis, M. Renaud, L. Veilleux and P.Y. Bernier 2001. Growth, physiology, and leachate losses in *Picea glauca* seedlings (1+0) grown in air-slit containers under different irrigation regimes. *Can. J. For. Res.* 31:1968-1980.
- Lamhamedi, M.S., G. Lambany, M. Renaud, L. Veilleux and S. Plamondon 2000b. Gestion de l'irrigation en pépinière et évaluation des semis d'épinette blanche produits dans les récipients à parois ajourées - Mémoire de recherche n°138.
- Gouvernement du Québec - Ministère des Ressources naturelles - Forêt Québec - Direction de la recherche forestière, Sainte Foy, p. 36 p.
- Landis, T.D., R.W. Tinus, S.E. McDonald and J.P. Barnett 1989. The container tree nursery manual - Vol. 4. Seedling nutrition and irrigation. U.S. Department of Agriculture, Forest service., Agric. Handbk. 674. Washington DC. 119 pages p.
- Li, P., J. Beaulieu and J. Bousquet 1997. Genetic structure and patterns of genetic variation among populations in eastern white spruce (*Picea glauca*). *Can. J. For. Res.* 27:189-198.
- Mari, S., G. Jansson and A. Jonsson 2003. Genetic variation in nutrient utilization and growth traits in *Picea abies* seedlings. *Scand. J. For. Res.* 18:19-28.
- Ritchie, G.A. 1990. A rapid method for detecting cold injury in conifer seedling root systems. *Can. J. For. Res.* 20:26-30.
- Zhu, X.B., R.M. Cox, C.-P.A. Bourque and P.A. Arp 2002. Thaw effect on cold-hardiness parameters in yellow birch. *Can. J. Botany*. 80:390-398.