



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

Sylvie Carles¹, Debra Stowe¹, Mohammed Lamhamedi², Jean Beaulieu³, Fabienne Colas², Bertrand Fecteau⁴,
Pierre Bernier⁵ et Hank Margolis¹

Résumé

Au Québec, environ 28 millions de plants d'épinette blanche (EPB) sont plantés chaque année. La grande variabilité génétique et la sensibilité de cette essence aux variations de 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. Or, selon les mêmes normes, l'insuffisance racinaire peut être causée par le gel. Pour préciser les effets de ces facteurs sur la croissance des racines d'EPB 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 ensuite évalué la variabilité génétique des caractéristiques morphologiques, notamment, racinaires, des plants d'EPB (1+0) puis (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 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.

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

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

³ 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.

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

⁵ Centre de foresterie des Laurentides, Service canadien des forêts, 1055 du P.E.P.S., C.P. 10380, Stn. Sainte-Foy, Québec, QC, Canada G1V 4C7.

PROBLÉMATIQUE

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



Photo 12 : Plants d'épinette blanche du même âge, de la même famille et soumis à des pratiques culturales identiques.

L'ÉPB se caractérise par :

- une grande variabilité génétique (Li et al. 1997; Lamhamed et al. 2000),
- une sensibilité aux variations de teneurs en eau et de la fertilité du substrat,
- une hétérogénéité spatiale prononcée en matière de croissance des plants (2+0) (Lamhamed et al. 2006) (photo 12).



Photo 13 : PFD d'ÉPB prêts à être livrés sur les sites de reboisement – Pampev Inc. (photo : E. Turgeon)

À la plantation, parmi les différents stress environnementaux, les plants sont soumis à un **stress hydrique** résultant, en partie, d'un contact insuffisant entre le sol et les racines (Figure 2).

⇒ le système racinaire a un impact majeur sur l'établissement, la survie et la croissance des plants après plantation.

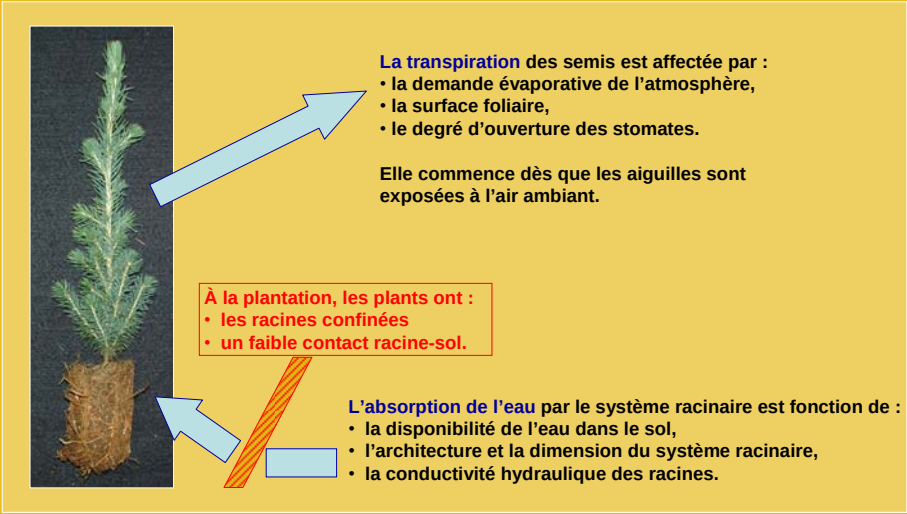


Figure 2 adaptée de Grossnickle (2000).

LA CROISSANCE DU SYSTÈME RACINAIRE :

- est sous contrôle génétique (Zobel 1996);
- est affectée par les régies de fertilisation et d'irrigation (Bergeron et al. 2004; Lamhamed et al. 2001).

Avant d'être livrés sur les sites de reboisement (photo 13), les PFD d'ÉPB devront, comme tous les plants résineux cultivés en récipients, respecter les critères et les normes de qualité définis par la Direction de la production des semences et des plants (DPSP) du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF). Parmi ces critères, l'**insuffisance racinaire** figure parmi les principales causes de rejets de PFD d'ÉPB.

L'INSUFFISANCE RACINAIRE :

- se caractérise par une trop faible quantité de racines vivantes;
- s'évalue principalement par le degré de colonisation de la carotte de tourbe (photos 14-16);
- peut être causée par le gel automnal (Bigras et Dumais 2005) ou des techniques et des régies de cultures inadéquates.



Photos 14 et 15 : plants d'ÉPB rejetés pour insuffisance racinaire

Photo 16 : carotte de tourbe ne présentant pas d'insuffisance racinaire



RÉFÉRENCES :

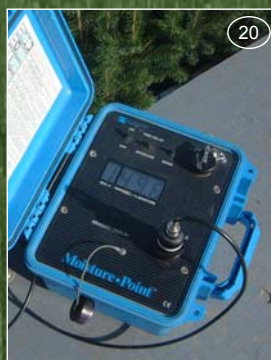
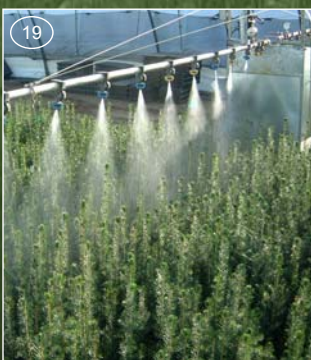
Bergeron, O., M. Lamhamed, H.A. Margolis, P.Y. Bernier and D.C. Stowe 2004 - Hortscience. 39:599-605 | Bigras, F.J. and D. Dumais 2005 - New For. 30: 167-184 | Grossnickle, S.C. 2000 - NRC Research Press, Ottawa, Ontario, Canada. 409 pp | Lamhamed, M.S., H. Chamberland, P.Y. Bernier and F.M. Tremblay 2000 - Tree Physiology. 20:869-880 | Lamhamed, M.S., G. Lambany, H.A. Margolis, M. Renaud, L. Veilleux and P.Y. Bernier 2001- Can. J. For. Res. 31:1968-1980 | Lamhamed, M.S., L. Labbé, H.A. Margolis, D.C. Stowe, L. Blais and M. Renaud 2006 - Soil Sci. Soc. Am. J. 70: 108-120 | Li, P., J. Beaulieu and J. Bousquet 1997 - Can. J. For. Res. 27:189-198 | Zobel, R.W. 1996. Plants roots: The hidden half Eds. Y. Waisel, A. Eshel and U. Kafafi. Marcel Dekker, Inc., New York, Basel, Hong Kong, pp. 21-30.

OBJECTIFS

Évaluer les effets de trois régies d'irrigation sur :

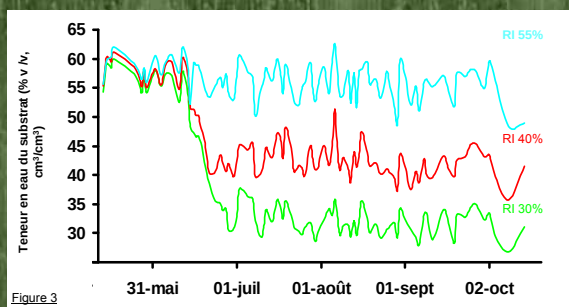
- la croissance (*hauteur, diamètre, masses sèches*) et la physiologie (*échanges gazeux*) de PFD d'ÉPB (2+0),
- la formation et le développement des bourgeons,
- l'acquisition de la tolérance au gel,
- le lessivage de l'eau et des éléments minéraux.

MATÉRIEL ET MÉTHODES



- Dispositif expérimental en conditions opérationnelles de croissance – sous tunnel de polyéthylène non chauffé – 6 blocs – Pampev Inc., St. Louis-de Blandford, Québec (photos 17 & 18).

- Plants d'épinette blanche en récipients IPL 25-350A



- **Trois régies d'irrigation** (RI : 30, 40 et 55% v/v) maintenues constantes pendant la 2^{ème} saison de croissance des plants, de juin à octobre (Figure 3)
- Irrigation par robot (Aquaboom, Harnois Inc.) (photos 18 et 19)
- Mesures journalières des teneurs en eau à l'aide du MP-917 (photo 20)

Variables mesurées

✓ Juin à octobre

- Caractérisation morphologique des plants - échantillonnage aux deux semaines – hauteur, diamètre, masses sèches, teneurs en éléments minéraux (photo 21)
- Mesure en continu du lessivage : volume, teneurs en éléments minéraux (photo 22)

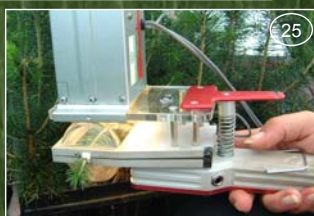
✓ Août à septembre

- Quantification de la formation des bourgeons



✓ Septembre et octobre (4 dates)

- Tests de gels artificiels (5 températures)
- Suivis de tests morpho-physiologiques afin de déterminer le niveau de tolérance au gel :
 - Perte en eau des racines (photo 23)
 - Conductivité électrolytique des apex (photo 24)



- Reprise des échanges gazeux (photo 25) en conditions optimales de croissance (photo 26)
- Capacité de croissance des racines blanches
- Dommages aux parties aériennes (photo 27)

RÉSULTATS

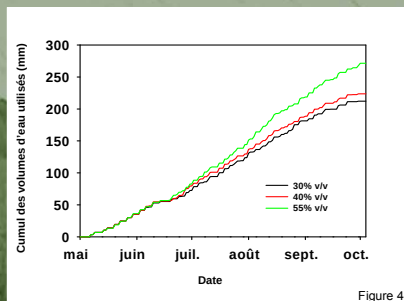


Figure 4

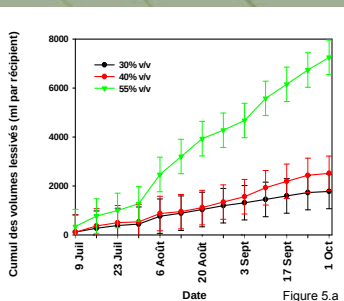


Figure 5.a

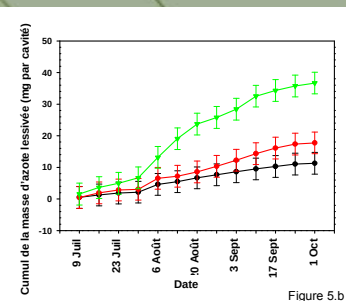


Figure 5.b

- La régie d'irrigation (RI) 55% a nécessité l'utilisation de 20% plus d'eau que la régie 40% (Figure 4)
- Trois fois plus d'eau et d'azote (N) ont été lessivés sous la RI 55% que sous la RI 40% (Figures 5.a et 5.b)

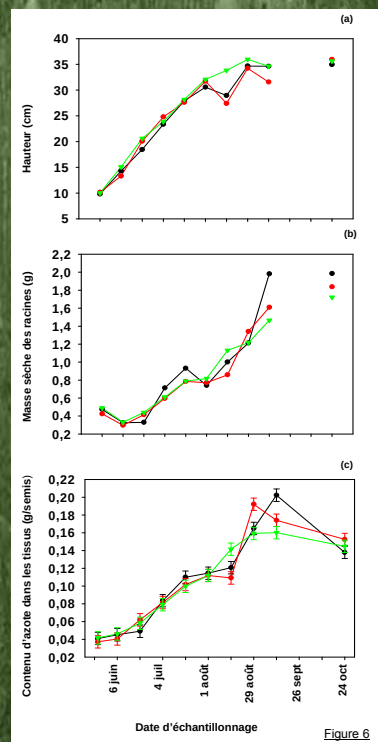


Figure 6

- La diminution des régies d'irrigation sous tunnel n'a pas affecté de façon significative :

- la croissance en hauteur des plants d'ÉPB (2+0) (Figure 6a),
- la masse sèche des racines (Figure 6b),
- le contenu tissulaire d'azote (Figure 6c),

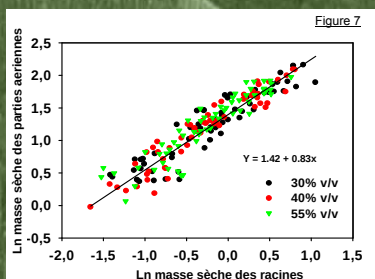
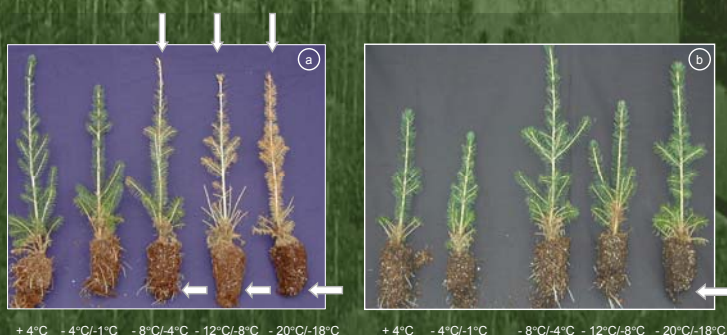


Figure 7

- l'allocation de carbone entre les parties aérienne et racinaire (Figure 7),
- le développement des bourgeons,
- l'acquisition de la tolérance au gel en automne (photos 28).



Photos 28 : 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. Du fait du maintien de la carotte de tourbe autour des racines, les températures atteintes au niveau des racines sont inférieures à celles atteintes pour les parties aériennes (chiffre de droite).

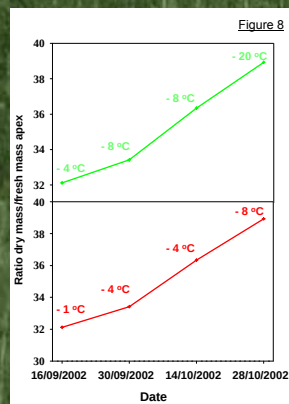


Figure 8

- Les températures de gel, que les plants sont capables de supporter sans dommages apparents, diminuent au cours de l'automne (photo 28).
- Ces températures seuils et les taux journaliers d'acquisition de tolérance au gel au cours de l'automne permettent l'élaboration de chartes d'endurcissement des plants d'épinette blanche (Figure 8).

CONCLUSION

- Cultiver les plants d'ÉPB (2+0) en récipients avec une teneur en eau du substrat de 40% permet de minimiser les quantités d'eau et d'azote lessivées sans compromettre la croissance en hauteur ou racinaire des plants, ni leur endurcissement en automne.
- L'élaboration de charte d'endurcissement permettront aux pépiniéristes de cibler les périodes de risque de dommages par le gel et d'optimiser les moyens de protection contre le gel.

OBJECTIFS

- 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;
- Préciser l'effet de la fertilisation sur l'architecture des systèmes racinaires et déterminer la stabilité des familles en réponse à des fertilités de substrat différentes

MATÉRIEL ET MÉTHODES

75 familles uni-parentales (Figure 1) d'épinette blanche issues du parc d'hybridation du Cap Tourmente (47°04' N, 70 °50' O) (photos 1 & 2)

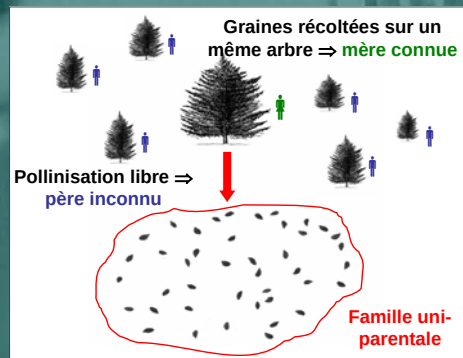
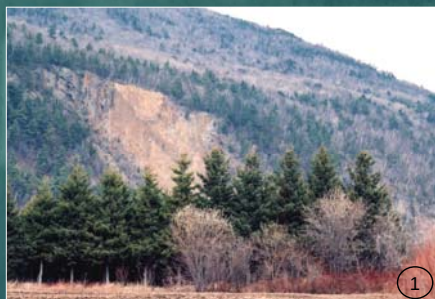


Figure 1 : Définition d'une famille uni-parentale

SEMENCES

- Longueur, largeur, surface projetée, masse de 1000 semences
- Pourcentage de germination et valeur germinative (photo 3)



Photo 3 : Test de germination de semences d'ÉPB en conditions contrôlées

PLANTS



- Mai 2004 : dispositif sous tunnel – Récipients : IPL 25-320 – 6 blocs – 450 plants d'épinette blanche par famille – CPPFQ, Sainte Anne de Beupré, Québec

- 1^{ère} saison de croissance, 2 traitements de fertilisation : fertilisation optimale – fertilisation faible

- 2 dates d'échantillonnage

✓ **Fin de la 1^{ère} saison de croissance (25 octobre 2004) :** hauteur, diamètre (photo 4), masses sèches, longueur des aiguilles, surface foliaire, contenus en éléments nutritifs, architecture du système racinaire (photo 5)



Photo 4 : Mesure du diamètre d'un plant d'épinette blanche (1+0)

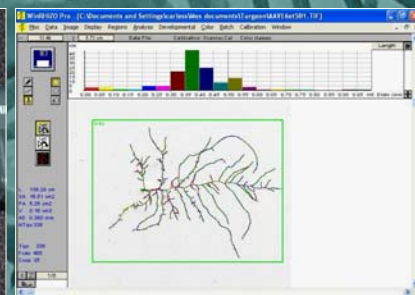


Photo 5 : Image numérisée du système racinaire d'un plant d'ÉPB (1+0) analysée par le logiciel Winrhizo



✓ **Fin de la 2nde saison de croissance (31 octobre 2005) :** hauteur, diamètre, masses sèches, longueur des aiguilles, surface foliaire, morphologie du système racinaire (photos 6 à 9)

Photo 6, 7, 8 & 9 : description de la morphologie du système racinaire d'un plant d'épinette blanche (2+0)

RÉSULTATS (fertilisation optimale)

Caractère	Moyenne (toutes familles confondues)	% de variance expliquée par variance inter- familles	Taux de significativité de l'effet familial Pr Z	h^2_{fam}	s.e.
SEMENCES					
Longueur (mm)	2.83	51.42	<.0001	-	
Largeur (mm)	1.56	40.43	<.0001	-	
Surface projetée (mm ²)	3.23	53.04	<.0001	-	
Masse 1000 semences (g)	2.59	97.68	<.0001	-	
% de germination	83.4	88.61	<.0001	0.97	0.17
Valeur germinative	18.95	88.90	<.0001	0.97	0.17
PLANTS (1+0)					
Hauteur (cm)	5.18	19.4	<.0001	0.64	0.17
Diamètre (mm)	1.65	4.2	n.s.	.	.
Masse sèche des parties aériennes (g)	0.33	14.1	0.0010	0.53	0.21
Masse sèche des racines (g)	0.17	7.5	0.0221	0.36	0.23
Ratio masses sèches racines/tiges	0.52	11.92	0.0010	0.53	0.19
Longueur des aiguilles (mm)	11.91	26.68	0.0009	0.54	0.17
Surface foliaire projetée par semis (cm ²)	15.37	15.77	0.0215	0.37	0.18
Contenu en N (mg/semis)	10.63	7.73	n.s.	.	.
Contenu en P (mg/semis)	1.62	13.4	0.0266	0.35	0.27
Contenu en K (mg/semis)	5.39	16.91	0.0163	0.38	0.29
Longueur totale des racines (cm)	487	12.57	0.0189	0.37	0.18
Diamètre moyen des racines (mm)	0.45	18	0.0088	0.42	0.18
Surface projetée des racines (cm ²)	21.77	12.03	0.0236	0.36	0.18
PLANTS (2+0)					
Hauteur (cm)	33.25	16.46	0.0013	0.52	0.17
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	0.58	0.22
Longueur des aiguilles (mm)	11.68	14.43	0.0261	0.35	0.18

Tableau 1 : Variations et héritabilités familiales des caractéristiques de graines (400 graines par famille) et de plants (1+0) et (2+0) (3 à 9 plants par famille) représentant 75 familles uni parentales d'épinette blanche

Tableau 2 : résultats de l'analyse de régression multiple par étapes des relations entre les moyennes familiales des caractéristiques des semis (var. dépendante) et les moyennes familiales des caractéristiques des semences (var. indépendante). Ne figurent dans le tableau que les variables indépendantes retenues par le modèle.

Variable dépendante	Variable(s) indépendante(s) Caractéristiques des semences	R ²	p
PLANTS (1+0)			
Hauteur (cm)	Masse 1000 semences	0.12	< 0.01
Diamètre (mm)	Masse 1000 semences Longueur semence	0.20	< 0.001
Masse sèche des parties aériennes (g)	Masse 1000 semences	0.20	< 0.001
Masse sèche des racines (g)	Masse 1000 semences Longueur semence	0.36	< 0.001
PLANTS (2+0)			
Hauteur (cm)	Masse 1000 semences Largeur semence	0.17	< 0.01
Diamètre (mm)	-	.	n.s.
Masse sèche des parties aériennes (g)	-	.	n.s.
Masse sèche des racines (g)	-	.	n.s.

Héritabilité familiale ~ proportion de la variabilité observée attribuable au code génétique de la mère

~ pourcentage de chance que des descendants du même arbre mère présentent les mêmes caractéristiques



Photo 10 : plant ÉPB (1+0)

À moins d'une sélection familiale qui diminuerait les différences entre les familles, au moins 1/5^{ème} de l'hétérogénéité entre les hauteurs des plants (1+0) sera toujours présente quelque soit les pratiques culturales utilisées pour uniformiser leur croissance

À la fin de la 2^{ème} saison de croissance, la hauteur et le ratio entre les masses sèches des racines et des parties aériennes diffèrent significativement entre les familles.

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) met en évidence que les familles les plus hautes ont, proportionnellement, moins de racines.



Photo 11 : plant ÉPB (1+0)

36% de la variance familiale de la masse sèche des racines à la fin de la 1^{ère} saison de croissance s'expliquent par une variance familiale qui existait déjà au stade de la semence

CONCLUSION

- Les caractéristiques morphologiques des racines des plants de fortes dimensions d'ÉPB sont significativement différentes entre les familles à la fin de la 1^{ère} saison de croissance mais ne diffèrent plus à la fin de la 2^{ème} saison de croissance.
- L'effet famille est moins important à la fin de la 2^{ème} qu'à la fin de la 1^{ère} saison de croissance. Cette diminution est attribuable, en partie, à la diminution de l'effet maternel entre la 1^{ère} et la 2^{ème} saison de croissance et à l'augmentation de l'influence des variables environnementales (eau, éléments nutritifs, volume de la cavité, ...etc.).