

Effets de la date d'ensemencement sur la croissance et la nutrition minérale des plants d'épinette blanche (2+0) en relation avec l'insuffisance racinaire

Mohammed S. Lamhamedi¹, Mario Renaud, Michel Rioux² et Jean-Yves Guay²

Résumé

Dans le but de trouver des solutions pour diminuer la quantité de plants d'épinette blanche (*Picea glauca* [Moench] Voss) de fortes dimensions rejetés pour cause d'insuffisance racinaire, des cultures ensemencées en récipients (conteneurs) à différentes dates ont été comparées à une échelle opérationnelle en pépinière forestière. L'objectif général consistait à évaluer si un ensemencement hâtif pouvait améliorer la croissance des plants, notamment celle des racines, comparativement à un ensemencement tardif, fait plus d'un mois plus tard. Les mesures finales de la deuxième saison de croissance ont montré que l'ensemencement hâtif a augmenté significativement la croissance en hauteur (60 % par rapport à l'ensemencement tardif), le diamètre (45 %), la masse sèche des parties aériennes et du plant entier, ainsi que la masse sèche des racines (108 à 110 %) et la cohésion de celles-ci. Pour les deux traitements, la concentration moyenne en azote des parties aériennes était de 2,25 %, ce qui est supérieur à la norme en azote foliaire (1,8 %) exigée lors de la livraison des plants pour le reboisement au Québec. Malgré des concentrations légèrement différentes pour les autres éléments minéraux, les plants des deux traitements n'ont montré aucun symptôme apparent de carence. Pour améliorer la croissance des racines et maximiser la croissance de l'épinette blanche, le pépiniériste gagne à semer plus tôt que plus tard. Cependant, l'ensemencement hâtif ne peut, à lui seul, réduire le taux de rejet des plants pour cause d'insuffisance racinaire. Pour ce faire, le pépiniériste devrait optimiser les techniques utilisées à toutes les étapes de production, en tenant compte des besoins spécifiques en eau et en éléments minéraux de l'épinette blanche.

Mots clefs : Épinette blanche, *Picea glauca*, pépinière forestière, insuffisance racinaire, date d'ensemencement, croissance, nutrition minérale

Abstract

*In the search for solutions to reduce the culling rates of large sized white spruce seedlings (*Picea glauca* [Moench] Voss) due to insufficient root development, containerized cultures sown on different dates were compared on an operational scale under forest nursery conditions. The main objective was to evaluate whether earlier sowing could improve seedling growth, especially root growth, compared to sowing one month later. After two growing seasons, seedlings sown earlier were significantly superior to seedlings sown one month later, in terms of height (60% difference), diameter (45%), above-ground and total dry mass, root dry mass (108-110%) and root cohesion. For both treatments, foliar nitrogen concentration averaged 2.25%, which is well above the minimal foliar concentration requirement of 1.8% for forest seedlings shipped for reforestation in Quebec. Though foliar concentrations for other mineral elements differed slightly between treatments, no visible deficiency symptoms were observed. To improve root growth and maximize the performance of white spruce seedlings, nurserymen should favour an earlier sowing date. However, early sowing alone is not enough to reduce seedling culling rates due to insufficient root development. Attaining this objective also requires optimizing growing techniques at each step during production, and taking into account the specific needs of white spruce for water and mineral nutrients.*

Keywords : White spruce, *Picea glauca*, forest nursery, insufficient root development, sowing date, growth, mineral nutrition

¹ Correspondance : mohammed.lamhamedi@mrn.gouv.qc.ca

² Pépinière forestière de Saint-Modeste, 410, rue Principale, Saint-Modeste (Québec) G0L 3W0



Introduction

Au Québec, la production de plants dans les pépinières forestières constitue un défi de taille à cause de la durée très courte de la saison de croissance et de la variabilité inter- et intra-annuelle des conditions environnementales, pouvant causer des stress environnementaux très sévères (hautes températures > 30 °C dans les tunnels pendant la phase de germination, gels hâtifs et tardifs, manque de couche protectrice de neige au début de la saison hivernale, etc.). Pour que ses cultures de plants atteignent les normes et critères de qualité morpho-physiologique avant leur mise en terre en site de reboisement, le pépiniériste doit optimiser ses régies de culture de façon rigoureuse selon l'essence, le récipient, le stade de croissance, les variables environnementales, etc.

Parmi les normes et critères de qualité morpho-physiologique des plants, l'insuffisance racinaire contribue à elle seule au rejet de plusieurs millions de plants à l'échelle de la province de Québec. D'après ce critère, un plant sera rejeté si la motte des racines se défait partiellement ou complètement après extraction de la cavité du récipient, si elle montre des portions distinctes liées par un système racinaire non endommagé avec plus de 5 mm de discontinuité entre les portions, ou si plus de 33 % des racines situées en périphérie sont mortes ou nécrosées (VEILLEUX *et al.* 2012).

L'épinette blanche (*Picea glauca* [Moench] Voss) figure parmi les essences les plus utilisées pour le reboisement au Québec. En effet, entre 2002 et 2011, la moyenne annuelle de plants livrés par les pépinières forestières a varié de 23 à 29 millions de plants, ce qui représente 15 % à 21 % de la quantité totale de plants livrés au Québec (ARSENEAULT, J., 2012; comm. pers., DGPS, MRN, Québec). Pour cette espèce, de 2001 à 2011, le taux annuel moyen d'insuffisance racinaire, évaluée à l'automne, variait de 11,4 % à 22,3 % pour les plants de fortes dimensions produits dans les pépinières forestières gouvernementales et privées du Québec (VEILLEUX, P., 2012; comm. pers., DGPS, MRN, Québec).

Le ministère des Ressources naturelles du Québec soutient, depuis plus de 40 ans, des activités de recherche, de développement, de veille technologique et de transfert pour le bénéfice des pépinières forestières au Québec. Plusieurs techniques culturales ont notamment été optimisées et ajustées, à l'échelle opérationnelle, afin d'améliorer

la croissance des racines et la cohésion de la motte de substrat. Ces améliorations ont touché le type de récipient, l'origine génétique des semences (CARLES *et al.* 2011, LAMHAMEDI *et al.* 2012), l'optimisation des propriétés physico-chimiques du substrat (HEISKANEN 1993, BERNIER *et al.* 1995, CARON 2001, VEIJALAINEN *et al.* 2008, PÉPIN *et al.* 2011), le recours au traitement de jours courts (LAMHAMEDI *et al.* 2009, LAMHAMEDI 2010), ainsi que les régies d'irrigation et de fertilisation (LANDIS *et al.* 1989, LANGLOIS *et al.* 1993, GIRARD *et al.* 2001, LAMHAMEDI *et al.* 2003).

Cependant, malgré l'état d'avancement de nos connaissances scientifiques quant aux effets de différentes régies de culture sur les réponses morpho-physiologiques des principales essences, peu de travaux ont été réalisés sur l'optimisation de l'itinéraire technique, notamment la quantification de l'effet de la date d'ensemencement sur la croissance des plants de fortes dimensions d'épinette blanche (2+0). Nous posons l'hypothèse que la croissance des racines des plants bénéficiant d'un ensemencement hâtif diffère de façon significative de celle des plants ensemencés plus tardivement.

L'objectif général de ce travail est de comparer les effets de deux dates d'ensemencement (hâtive et tardive) sur la croissance et la nutrition minérale des plants de fortes dimensions d'épinette blanche à la fin de la deuxième saison de croissance en pépinière forestière.

1. Matériel et Méthodes

1.1. Production de plants

Cette expérience a été réalisée à une échelle opérationnelle à la pépinière forestière gouvernementale de Saint-Modeste (47° 50' 10" N; 69° 23' 10" O, Québec, Canada). Les graines d'épinette blanche ont été semées à deux dates représentatives de ce qui est pratiqué à l'échelle opérationnelle dans les pépinières forestières au Québec (date hâtive : 5 mai 2004, date tardive : 14 juin 2004), dans des récipients à parois ajourées IPL 25-350A (25 cavités par récipient, 350 cm³ par cavité; 37 cm x 35,5 cm, IPL, Saint-Damien, Québec). Le substrat était constitué à 80 % de tourbe et à 20 % de vermiculite. Les graines utilisées pour cette expérience provenaient toutes du verger à graines d'Estcourt (46,97° N; 75,76° O) et avaient été stratifiées. Au Québec, seules les grosses graines de calibre 1, 2 et 3 d'épinette blanche récoltées dans les différents vergers à graines sont utilisées à l'échelle

opérationnelle. Par contre, les graines de calibre 4 (les plus petites) ne sont pas utilisées, et ce, dans le but de diminuer la fréquence des plants chétifs et la variabilité de croissance des plants pour un lot donné de semences. Ces plants chétifs sont généralement rejetés avant la livraison des plants.

Pendant leur première année de croissance (stade 1+0), les plants des deux traitements ont été cultivés de façon séparée sous un même tunnel non chauffé, couvert d'une toile de polyéthylène laiteux. La toile du tunnel a été retirée du mois d'octobre 2004 au mois d'avril 2005, et les plants ont hiverné sous la neige.

En avril 2005, dès le début de la deuxième saison de croissance (stade 2+0), les plants des deux traitements ont été déplacés vers la même aire de culture extérieure exposée aux conditions environnementales naturelles. Les groupes de récipients des deux traitements étaient adjacents dans la même aire de culture (Figure 1). Le nombre de récipients et de plants utilisés dans le cas de l'ensemencement tardif étaient largement suffisants pour porter un jugement et une décision à l'échelle opérationnelle.

Pendant les deux années de croissance en pépinière (1+0 et 2+0), les plants des deux traitements ont été soumis à des pratiques et techniques culturales identiques (fertilisation, irrigation, etc.) et conformes aux standards de production de plants d'épinette blanche de fortes dimensions (LAMHAMEDI *et al.* 2006). La gestion de la fertilisation a été ajustée toutes les deux semaines à l'aide du logiciel *Plantec* (GIRARD *et al.* 2001), qui permet le calcul des besoins des plants en éléments minéraux, selon les stades de croissance. Les apports de fertilisants pour les deux traitements étaient effectués en même temps. Les quantités de fertilisants appliquées aux plants d'épinette blanche ont été similaires à celles mentionnées dans nos travaux antérieurs. En effet, au Québec, pendant la première saison de croissance (1+0) sous tunnel, les apports moyens en éléments minéraux sont de 79,2 mg/plant pour l'azote (N), 23,9 mg/plant pour le phosphore (P) et 38,2 mg/plant pour le potassium (K) (LAMHAMEDI *et al.* 2001). Pendant la deuxième saison de croissance (2+0) à l'extérieur, ces apports moyens augmentent à 167,8 mg de N /plant (323,9 kg/ha), 44 mg de P/plant (84,9 kg/ha) et 64 mg de K /plant (123,6 kg/ha) (STOWE *et al.* 2010). Les fertilisations appliquées contiennent également les autres éléments minéraux essentiels, notamment le calcium, le magnésium et les oligo-éléments.

1.2. Croissance et nutrition minérale

À la fin de la deuxième saison de croissance (27 septembre 2005), 25 plants représentatifs par traitement ont été échantillonnés aléatoirement dans différents récipients de l'aire de culture opérationnelle d'épinette blanche (2+0) de la pépinière de Saint-Modeste. La hauteur et le diamètre au collet ont d'abord été mesurés, puis les masses sèches des parties aériennes et des racines ont été déterminées après un séchage d'une durée de 48 heures dans une étuve à 60 °C.

Les concentrations des éléments minéraux (N, P, K, Ca et Mg) des parties aériennes des plants ont été déterminées à partir de quatre échantillons composites par traitement. Les analyses minérales des plants ont été effectuées par le Laboratoire de chimie organique et inorganique de la Direction de la recherche forestière du ministère des Ressources naturelles du Québec. Les méthodes d'analyse utilisées sont décrites dans LAMHAMEDI *et al.* (2001).

1.3. Analyses statistiques

Pendant leur première année de croissance (1+0) sous un même tunnel, les plants des deux traitements ont été soumis aux mêmes conditions environnementales et aux mêmes régies de culture. Les conditions environnementales (température, humidité relative, déficit de pression de vapeur, etc.) et les régies de culture (composition, densité et fertilité initiales du substrat, irrigation par robot, fertilisation, etc.) sont généralement identiques entre les tunnels, surtout lorsque leur exposition est similaire. Dans le cadre de nos récents travaux (LAMHAMEDI *et al.* 2011a), les résultats laissent indiquer que l'effet tunnel n'a jamais eu un effet significatif sur les variables morpho-physiologiques des plants forestiers pendant leur première saison de croissance. D'autres travaux ont également démontré que lorsque le dispositif est installé dans un seul tunnel, l'effet bloc n'a jamais été significatif (LAMHAMEDI *et al.* 2003, 2009).

Pendant leur deuxième année de croissance (2+0), les plants des deux traitements adjacents ont été soumis aux mêmes conditions environnementales (température de l'air, humidité relative, lumière, pluie, etc.). De plus, pour éviter l'effet de la variabilité spatiale de certains paramètres (fertilité du substrat, fertilisation et irrigation, LAMHAMEDI *et al.* 2006), la fertilisation a été assurée par un robot monté sur un tracteur (coefficient d'uniformité > 95 %), et la teneur

en eau du substrat a été maintenue à un niveau optimal (40-45 %, v/v) pour la croissance des plants d'épinette blanche.

De ce qui précède et même si les unités expérimentales n'ont pas été assignées aléatoirement aux traitements, il ressort que les deux traitements ont été soumis aux mêmes conditions environnementales et de croissance, et que celles-ci sont représentatives des aires de culture de l'épinette blanche (1+0 et 2+0) à l'échelle de la pépinière. À cet égard, même si le caractère opérationnel de cet essai technique pourrait s'apparenter à une approche de quasi-expérience (SHADISH *et al.* 2002), les différences observées entre les deux traitements peuvent seulement avoir été causées par la date d'ensemencement.

Une analyse de la variance a été effectuée sur chaque variable mesurée afin de comparer les deux dates d'ensemencement. Le modèle utilisé comprenait un seul facteur à effets fixes, soit les deux dates d'ensemencement (5 mai ou 14 juin 2004) :

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

y_{ij} = Valeur obtenue pour le plant j à la date d'ensemencement i ,

μ = Moyenne générale,

α_i = Effet fixe de la date d'ensemencement i , et

ε_{ij} = Erreur aléatoire associée à la valeur du plant j à la date d'ensemencement i , ($j = 1$ à 23 ou 25; $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2)$).

Dans tous les cas, la procédure MIXED de SAS (version 9.2) a été utilisée pour effectuer les analyses (LITTELL *et al.* 2006). Le seuil de significativité utilisé était de 5 %.

L'hypothèse de normalité a été testée à l'aide de la statistique de Shapiro-Wilk, alors que l'homogénéité des variances a été vérifiée de façon graphique. Pour les variables de croissance, la variance des erreurs différait selon les dates d'ensemencement; une variance différente a donc été modélisée pour chacune des dates. À noter que cette analyse équivaut à un test t de Student pour échantillons indépendants, mais qu'elle permet de tenir compte de l'hétérogénéité des variances des erreurs, le cas échéant.

2. Résultats et discussion

Après deux saisons de culture, la croissance en hauteur des plants d'épinette blanche de chaque traitement (ensemencement hâtif ou tardif) était remarquablement uniforme (Figures 1 et 2). Cependant, les résultats de l'analyse de variance (Tableau 1) ont montré que la date d'ensemencement a influencé de façon significative la croissance en hauteur ($p < 0,0001$) et en diamètre ($p < 0,0001$), ainsi que les masses sèches des racines, des parties aériennes et du plant entier ($p < 0,0001$). En effet, par rapport à l'ensemencement tardif, l'ensemencement hâtif a augmenté la croissance en hauteur de 60 % (46,9 cm contre 29,4 cm), le diamètre de 45 % (7,95 mm contre 5,47 mm), ainsi que les masses

Tableau 1. Analyse de la variance des variables de croissance et de la nutrition minérale des parties aériennes des plants d'épinette blanche (2+0) à la fin de leur 2^e saison de croissance, pour comparer les effets de deux dates d'ensemencement (tardif : 14 juin 2004; hâtif : 5 mai 2004)

Variables	DLn*	DLd†	F	Pr > F
Variables de croissance				
Hauteur (cm)	1	45,2	89,19	< 0,0001
Diamètre (mm)	1	40,5	68,00	< 0,0001
Masse sèche des parties aériennes (mg)	1	35,2	41,99	< 0,0001
Masse sèche des racines (mg)	1	33,6	25,72	< 0,0001
Masse sèche du plant entier (mg)	1	34,6	39,24	< 0,0001
Nutrition minérale des parties aériennes				
N (%)	1	6	0,00	0,9862
P (%)	1	6	6,73	0,0410
K (%)	1	6	15,47	0,0077
Ca (%)	1	6	7,15	0,0368
Mg (%)	1	6	0,86	0,3895

* DLn = degrés de liberté du numérateur.

† DLd = degrés de liberté du dénominateur selon l'approximation de Kenward-Roger.



Figure 1. a) Vue générale d'une partie de l'aire de culture. Les récipients de l'ensemencement tardif (14 juin 2004) sont délimités par un rectangle blanc; ceux de l'ensemencement hâtif (5 mai 2004) occupent le reste de l'aire de culture. Les plants des deux traitements ont été soumis aux mêmes régies de culture (irrigation, fertilisation, etc.) et aux mêmes conditions environnementales. b) Les récipients de l'ensemencement tardif apparaissent au premier plan, séparés de ceux de l'ensemencement hâtif par une ligne pointillée. Remarquez les différences de croissance en hauteur entre les plants des deux traitements, ainsi que l'uniformité de la hauteur des plants dans chacun des traitements.

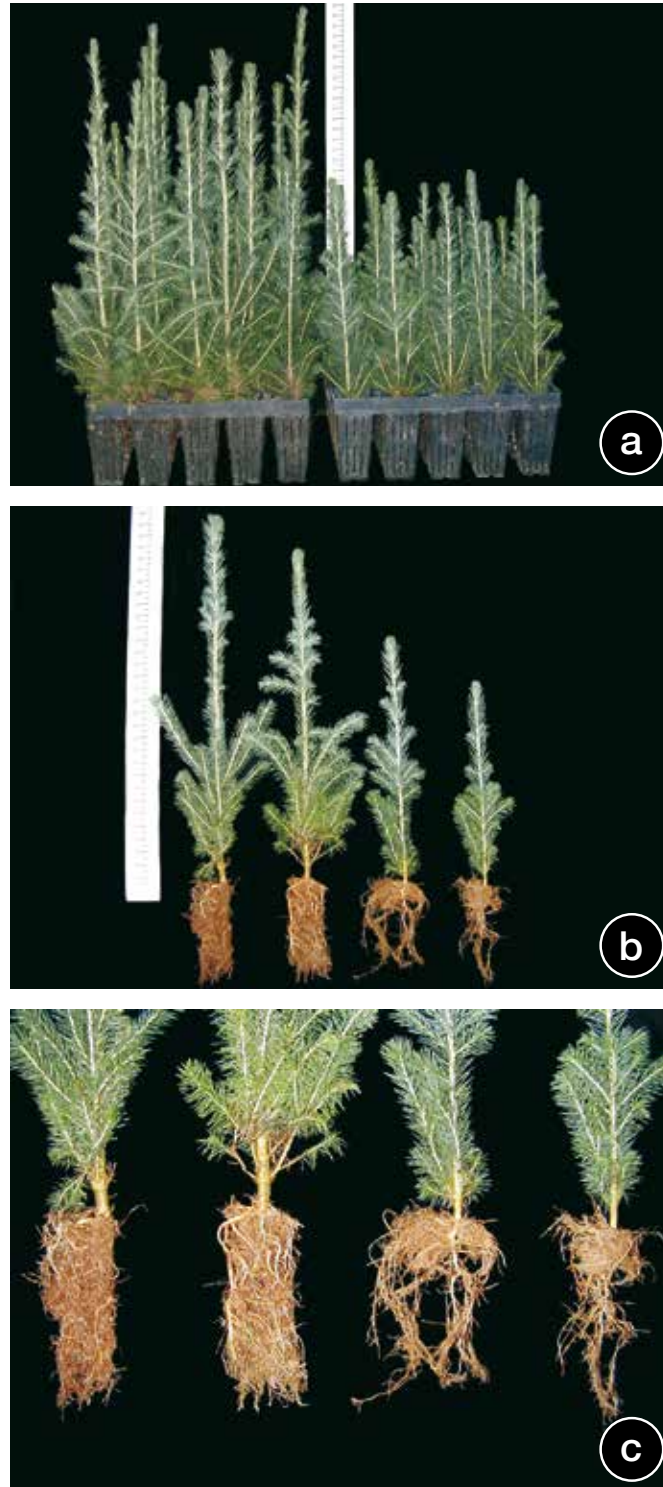


Figure 2. a) Comparaison de la hauteur après deux saisons de croissance des plants d'épinette blanche entre l'ensemencement hâtif du 5 mai 2004 (récipient à gauche) et tardif du 14 juin 2004 (récipient à droite - date d'échantillonnage : 27 septembre 2005); b) comparaison des racines et des parties aériennes de deux plants issus de l'ensemencement tardif (à droite) et hâtif (à gauche); c) différences observées entre la croissance et la densité des racines lavées de deux plants d'épinette blanche issus de l'ensemencement tardif (à droite) et hâtif (à gauche).

sèches des racines (2827 mg contre 1357 mg), des parties aériennes (10275 mg contre 4894 mg) et du plant entier de 108 à 100 % (13102 mg contre 6251 mg, Figures 2 et 3). Ces résultats concordent avec ceux de LARSON (1963) qui a montré que la germination précoce des semences de pin ponderosa (*Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws.) a amélioré les différentes variables de croissance des plants par rapport à une germination tardive. L'augmentation de la croissance et de la masse des racines a aussi amélioré la cohésion des mottes racinaires des plants de l'ensemencement hâtif (Figure 2).

Ces résultats démontrent clairement que, vu la durée très courte de la saison de croissance pour la production de plants forestiers au Québec (110 à 150 jours; 780 à 2000 degrés-jours), chaque jour de délai, lors de l'ensemencement de l'épinette blanche, entraînera une diminution de la croissance. Nos résultats ont également montré qu'un délai à l'ensemencement, lors de la première saison de croissance, a des répercussions négatives sur les différentes variables de croissance mesurées à la fin de la deuxième saison de croissance. Ceci indique que le retard de croissance observé chez l'épinette blanche de première année ne peut pas être rattrapé au cours de la deuxième saison de croissance. De plus, contrairement à l'épinette noire, l'épinette blanche est très exigeante en eau et en éléments minéraux tout au long des deux saisons de croissance (1+0 et 2+0) en pépinière forestière (STOWE *et al.*, 2001, LAMHAMEDI *et al.* 2001). Un contrôle inadéquat de ces deux régies ne peut qu'avoir des effets négatifs sur sa croissance en hauteur. De plus, au Québec, selon les années et la région écologique, la formation des bourgeons peut commencer très tôt (mi-juillet) chez les plants d'épinette blanche, surtout lors de la deuxième saison de croissance. Cette caractéristique peut compromettre l'atteinte de la hauteur cible du lot de plants, surtout si ceux-ci sont livrés au stade dormant, tôt le printemps suivant. Nos récents travaux (CARLES *et al.* 2011, LAMHAMEDI et CARLES, 2012) ont également démontré qu'un ensemencement tardif (7 juin) de semences stratifiées d'épinette blanche issues de 10 vergers à graines n'a pas permis dans tous les cas d'atteindre la norme de hauteur ($h \approx 35$ cm), et ce, malgré un apport important de fertilisants lors de la 2^e saison de croissance (N : 402,3 mg/plant; P : 99,8 mg/plant et K : 154,2 mg/plant).

De ce qui précède, il est fortement recommandé de privilégier un ensemencement hâtif pour l'épinette blanche, afin de faciliter l'atteinte des normes

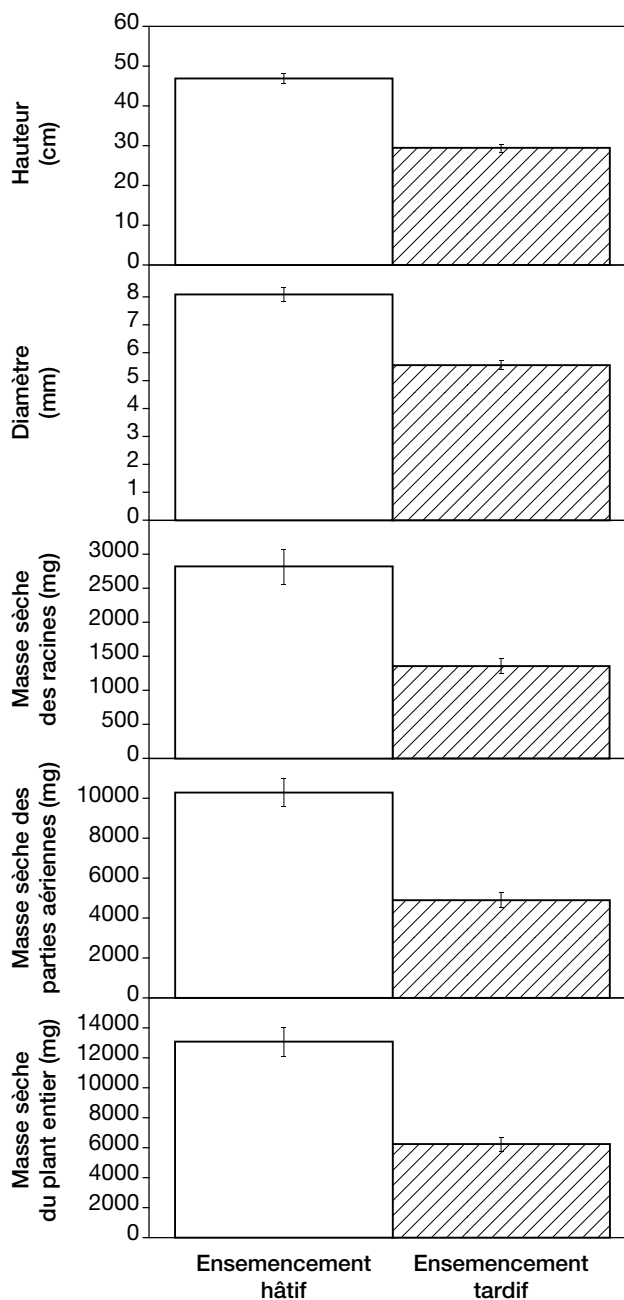


Figure 3. Effets significatifs et marqués de la date d'ensemencement hâtif (5 mai 2004) par comparaison à l'ensemencement tardif (14 juin 2004) pour la hauteur, le diamètre, la masse sèche des racines, la masse sèche des parties aériennes et la masse sèche du plant entier des plants d'épinette blanche de fortes dimensions (2+0) échantillonnés le 27 septembre 2005. Les barres indiquent les erreurs types des moyennes des différentes variables.

et critères de qualité morpho-physiologique des plants de fortes dimensions (croissance en hauteur, croissance accélérée des racines, etc.). L'atteinte de la hauteur ciblée, à la fin de la première saison, ne peut que faciliter la gestion subséquente de la culture. Par exemple, il devient alors possible d'imposer des stress hydriques non sévères au cours de la seconde saison. Ceux-ci favorisent la formation complète et hâtive des bourgeons, améliorent la lignification et stimulent l'endurcissement précoce, ce qui permet aux plants de mieux tolérer certains gels hâtifs d'automne.

Cependant, l'ensemencement hâtif ne peut, à lui seul, améliorer la croissance et la cohésion des racines et faire diminuer le taux de rejet des plants pour cause d'insuffisance racinaire. Le pépiniériste devrait porter une attention particulière à toutes les étapes de production et à toutes les techniques utilisées. En effet, la croissance à la fin de chaque saison de production résulte de différentes interactions complexes entre les variables environnementales et les techniques de culture appliquées selon les stades de croissance. Citons notamment le modèle et les caractéristiques du récipient, les propriétés physico-chimiques du substrat, la source génétique et le gabarit des semences, le contrôle des teneurs en eau et de la fertilité du substrat, le contrôle de l'environnement lumineux lors de la croissance racinaire, la protection contre les gels automnaux et hivernaux, les mesures de protection mises en œuvre lors des périodes estivales où les températures sont extrêmement élevées, etc. (LAMHAMEDI 2006, LAMHAMEDI *et al.* 2011a, b, c).

La date d'ensemencement n'a eu aucun effet significatif sur la concentration en azote des parties des plants ($p = 0,9862$). Pour les deux traitements, la concentration moyenne en azote des plants était de 2,25 %, ce qui est supérieur à la norme en N foliaire (1,8 %) exigée lors de la livraison des plants pour le reboisement (VEILLEUX *et al.* 2012). Par ailleurs, la date d'ensemencement hâtive a augmenté de façon significative la concentration en Ca ($p = 0,0368$), mais elle a diminué de façon significative les concentrations en P ($p = 0,0410$) et en K ($p = 0,0077$). Malgré ces différences, les plants des deux traitements n'ont montré aucun symptôme apparent de carence en éléments minéraux. En effet, les concentrations

moyennes en éléments minéraux observées pour les deux traitements sont : N (2,25 %), P (0,26 % - 0,27 %), K (0,68 % - 0,85 %), Ca (0,26 % - 0,32 %) et Mg (0,13 % - 0,14 %). Ces valeurs sont optimales pour la croissance des parties aériennes, des racines et des différents processus physiologiques (photosynthèse, etc.) (GAGNON et LAMHAMEDI 2011).

L'absence de différences significatives en matière de concentration en azote indique que cet élément n'était pas un facteur limitant pour la croissance des parties aériennes ni celle des racines. En effet, la croissance des racines est intimement liée aux produits de la photosynthèse courante, dont la disponibilité est fortement corrélée au taux de photosynthèse et à la concentration en azote (LAMHAMEDI et BERNIER 1994).

Conclusion et portée opérationnelle des résultats

Le présent essai technique à caractère opérationnel avait pour objectif d'améliorer la croissance des racines des plants de fortes dimensions d'épinette blanche 2+0. À la fin de la deuxième saison, l'ensemencement hâtif a engendré une augmentation des différentes variables de croissance par comparaison à l'ensemencement tardif, notamment pour la masse et la cohésion des racines.

Pour faciliter l'atteinte des normes de qualité des plants, notamment diminuer le nombre de plants rejetés pour cause d'insuffisance racinaire, le pépiniériste gagne à semer l'épinette blanche plus tôt que plus tard, afin de maximiser les variables de croissance (hauteur, diamètre, masses sèches des racines et des parties aériennes, cohésion des racines, etc.).

Toutefois, l'ensemencement hâtif, à lui seul, ne peut améliorer la croissance et la cohésion des racines et diminuer le taux de rejet des plants pour cause d'insuffisance racinaire. Pour réduire ces pertes et atteindre les normes et critères de qualité morpho-physiologique des plants de fortes dimensions d'épinette blanche, le pépiniériste devrait optimiser l'ensemble de ses interventions reliées à l'itinéraire technique.

Remerciements

Nous tenons à remercier tout le personnel de la Pépinière forestière de Saint-Modeste¹ qui a conduit cet essai technique à caractère opérationnel. Nous remercions également tout le personnel de la Direction de la recherche forestière (DRF) qui a contribué à ce travail, en particulier l'équipe du Laboratoire de chimie organique et inorganique pour les analyses minérales des échantillons, Mme Josianne DeBlois, statisticienne, pour les analyses statistiques et M. Pascal Desjardins, technicien forestier, pour le traitement des illustrations.

Nous remercions Mme Lise Charette qui a agi à titre d'éditrice scientifique de cette note de recherche, ainsi que les réviseurs anonymes, pour leurs commentaires pertinents effectués dans le cadre du processus de révision scientifique. Nos remerciements s'adressent également à Mmes Sylvie Bourassa et Maripierre Jalbert pour la mise en page, et à Mme Denise Tousignant, pour la révision complète et l'édition.

Ce travail a été financé par la DRF (n° projet : 1120551-112310094, sous la responsabilité de M. Mohammed S. Lamhamedi), et également, grâce à l'appui financier supplémentaire accordé au projet par la Direction générale des pépinières et des stations piscicoles.

Les résultats de cet essai technique ont déjà fait l'objet d'une activité de transfert de connaissances, dans le cadre du 4^e atelier sur la production de plants forestiers au Québec (15-16 mars 2006, Québec, Canada) auprès des pépinières forestières du Québec, des gestionnaires, des comités techniques de certaines pépinières, des chercheurs et des étudiants gradués.

Références bibliographiques

- BERNIER, P.Y., J.D. STEWART et A. GONZALEZ, 1995. *Effects of the physical properties of Sphagnum peat on water stress in containerized Picea mariana seedlings under simulated field conditions*. Scand. J. For. Res. 10: 184-189.
- CARLES, S., M.S. LAMHAMEDI, J. BEAULIEU, D.C. STOWE et H.A. MARGOLIS, 2011. *Differences in growth and mineral nutrition of seedlings produced from ten white spruce seed orchards*. New Forests 42: 195-214.

¹ www.mrn.gouv.qc.ca/forets/semences/semences-pepinieres-saint-modeste.jsp.

- CARON, J., 2001. *La tourbe et les milieux artificiels*. Dans : *Écologie des tourbières du Québec-Labrador*. PAYETTE S. et L. ROCHEFORT (éditeurs). Les Presses de l'Université Laval, Québec (Canada). p. 399-410.
- GAGNON, J. et M.S. LAMHAMEDI, 2011. *Les concentrations foliaires en azote recommandées au Québec pour les essences résineuses produites en récipients sont-elles adéquates ?* Dans : COLAS, F., et M.S. LAMHAMEDI (éditeurs). *Production de plants forestiers au Québec : la culture de l'innovation*. Colloque de transfert de connaissances et de savoir-faire. Carrefour Forêt Innovations, 4-6 octobre 2011, Québec (Canada), p. 47-51. [www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Lamhamedi-Mohammed/Recueil-resume-carrefour.pdf].
- GIRARD, D., J. GAGNON et C.-G. LANGLOIS, 2001. *Plantec : un logiciel pour gérer la fertilisation des plants dans les pépinières forestières*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Note de recherche forestière n° 111, 8 p. [www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Gagnon-Jean/Note111.pdf].
- HEISKANEN, J., 1993. *Favourable water and aeration conditions for growth media used in containerized tree seedling production: A review*. Scand. J. For. Res. 8: 337-358.
- LAMHAMEDI, M.S., 2006. *Principaux facteurs influençant le développement racinaire et effets de l'irrigation sur la croissance et la physiologie des racines en pépinière forestière*. Dans : *4^e atelier sur la production de plants forestiers au Québec*. 15-16 mars 2006, Québec (Canada). [www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Lamhamedi-Mohammed/4e-atelier-principaux-facteurs.pdf].
- LAMHAMEDI, M.S., 2010. *Amélioration tangible de la croissance des racines des plants d'épinette noire par le traitement de jours courts en pépinière forestière*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Avis de recherche forestière n° 24. 2 p. [www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Lamhamedi-Mohammed/avis24.pdf].
- LAMHAMEDI, M.S., P. BERNIER. 1994. *Ecophysiology and field performance of black spruce: a review*. Ann. Sci. For. 51: 529-551.

- LAMHAMEDI, M.S. et S. CARLES, 2012. *Le verger à graines d'où proviennent les semences peut-il affecter la croissance des plants d'épinette blanche?* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Avis de recherche n° 39. 2 p. [www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Lamhamedimohammed/Avis39.pdf].
- LAMHAMEDI, M.S., G. LAMBANY, H.A. MARGOLIS, M. RENAUD, L. VEILLEUX et 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. 32: 1968-1980. [www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Lamhamedimohammed/Can-J-For-Res-31-1968-1980.pdf].
- LAMHAMEDI, M.S., H.A. MARGOLIS, M. RENAUD, L. VEILLEUX et I. AUGER, 2003. *Effets de différentes régies d'irrigation sur la croissance, la nutrition minérale et le lessivage des éléments nutritifs des semis d'épinette noire (1+0) produits en récipients à parois ajourées en pépinière forestière.* Can. J. For. Res. 33: 279-291.
- LAMHAMEDI, M.S., L. LABBÉ, H.A. MARGOLIS, D.C. STOWE, L. BLAIS et M. RENAUD, 2006. *Spatial variability of substrate water content and growth of white spruce seedlings.* Soil Sci. Soc. Am. J. 70: 108-120. [www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Lamhamedimohammed/Soil-Sci-Soc-Am-J-70-108-120.pdf].
- LAMHAMEDI, M.S., M. RENAUD, P. DESJARDINS et L. VEILLEUX, 2009. *Mise à l'échelle opérationnelle du traitement hâtif de jours courts sur la morpho-physiologie et l'insuffisance racinaire des plants d'épinette noire (1+0) produits en tunnel.* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Mémoire de recherche forestière n° 154. 28 p. [www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Lamhamedimohammed/Memoire154.pdf].
- LAMHAMEDI, M.S., M. RENAUD, P. DESJARDINS et L. VEILLEUX, 2011a. *L'utilisation des toiles claires peut-elle augmenter la croissance des racines des plants d'épinette blanche (1+0) en pépinière forestière?* Dans : COLAS, F. et M.S. LAMHAMEDI (éditeurs). *Production de plants forestiers au Québec : la culture de l'innovation.* Colloque de transfert de connaissances et de savoir-faire. Carrefour Forêt Innovations, 4-6 octobre 2011, Québec (Canada). p. 87-95. [www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Lamhamedimohammed/Recueil-resume-carrefour.pdf].
- LAMHAMEDI, M.S., M. RENAUD et L. VEILLEUX, 2011b. *Les effets de l'augmentation du pH des substrats sur la croissance des plants forestiers produits dans les pépinières forestières.* Dans : COLAS, F. et M.S. LAMHAMEDI (éditeurs). *Production de plants forestiers au Québec : la culture de l'innovation.* Colloque de transfert de connaissances et de savoir-faire. Carrefour Forêt Innovations, 4-6 octobre 2011, Québec (Canada). p. 33-45. [www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Lamhamedimohammed/Recueil-resume-carrefour.pdf].
- LAMHAMEDI, M.S., L. VEILLEUX, M. RENAUD et P. DESJARDINS, 2011c. *Prédiction et détermination des seuils de tolérance au gel en automne et techniques de protection contre le gel hivernal.* Dans : COLAS, F. et M.S. LAMHAMEDI (éditeurs). *Production de plants forestiers au Québec : la culture de l'innovation.* Colloque de transfert de connaissances et de savoir-faire. Carrefour Forêt Innovations, 4-6 octobre 2011, Québec (Canada). p. 53-64. [www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Lamhamedimohammed/Recueil-resume-carrefour.pdf].
- LANDIS, T.D., R.W. TINUS et J.P. BARNETT, 1989. *The container tree nursery manual. Vol. 4. Seedling nutrition and irrigation.* USDA Forest Service, Agricultural Handbook No. 674. 119 p. [www.rngr.net/publications/ctnm/volume-4].
- LANGLOIS, C.G. et J. GAGNON, 1993. *A global approach to mineral nutrition based on the growth needs of seedlings produced in forest tree nurseries.* Dans BARROW, N.J. (éditeur). *Plant nutrition: from genetic engineering to field practice.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (Pays-Bas). p. 303-306.
- LARSON, M.M. 1963. *Initial root development of Ponderosa pine seedlings as related to germination date and size of seed.* For. Sci. 9: 456-460.
- LITTELL, R.C., G.A. MILLIKEN, W.W. STROUP, R.D. WOLFINGER, et O. SCHABENBERGER, 2006. *SAS for Mixed Models, Second Edition.* SAS Institute Inc. Cary, NC (États-Unis).

- PÉPIN, S., S. BOUDREAU, I. PAIEMENT, J. CARON et M.S. LAMHAMEDI, 2011. *Les propriétés physiques des substrats affectent-elles la croissance racinaire des plants d'épinette blanche (2+0) en pépinière forestière?* Dans : COLAS, F. et M.S. LAMHAMEDI (éditeurs). *Production de plants forestiers au Québec : la culture de l'innovation*. Colloque de transfert de connaissances et de savoir-faire. Carrefour Forêt Innovations, 4-6 octobre 2011, Québec (Canada), p. 79-85. [www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Lamhamed-Mohammed/Recueil-resume-carrefour.pdf].
- SHADISH, W.R., T.D. COOK et D.T. CAMPBELL, 2002. *Experimental and quasi-experimental designs for generalized causal inference*. Houghton Mifflin Company. New York, NY (États-Unis). 623 p.
- STOWE, D.C., M.S. LAMHAMEDI, S. CARLES, B. FECTEAU, H.A. MARGOLIS, M. RENAUD et P.Y. BERNIER, 2010. *Managing irrigation to reduce nutrient leaching in containerized white spruce seedling production*. *New Forests* 40: 185-204.
- STOWE, D.C., M.S. LAMHAMEDI et H. A. MARGOLIS, 2001. *Water relations, cuticular transpiration, and bud characteristics of air-slit containerized Picea glauca seedlings in response to controlled irrigation regimes*. *Can. J. For. Res.* 31: 2200-2212. [www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Lamhamed-Mohammed/Can-J-For-Res-31-2200-2212.pdf].
- VEIJALAINEN, A.-M., M.-L. JUNTUNEN, J. HEISKANEN et A. LILJA, 2008. *Growing Picea abies container seedlings in peat and composted forest-nursery waste mixtures for forest regeneration*. *Scan. J. For. Res.* 22: 390-379.
- VEILLEUX, P., J.Y. ALLARD, F. BART, M. BOULIANE, D. LABRECQUE et F.-N. PERREAU, 2012. *Inventaire de qualification des plants résineux cultivés en récipients. Guide terrain*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction générale des pépinières et des stations piscicoles, Québec (Canada). 140 p.



La Direction de la recherche forestière a pour mandat de participer activement à l'orientation de la recherche et à l'amélioration de la pratique forestière au Québec, dans un contexte d'aménagement forestier durable, en réalisant des travaux de recherche scientifique appliquée. Elle développe de nouvelles connaissances, du savoir-faire et du matériel biologique et contribue à leur diffusion ou leur intégration au domaine de la pratique. Elle subventionne aussi des recherches en milieu universitaire, le plus souvent dans des créneaux complémentaires à ses propres travaux.

**Ressources
naturelles**

Québec 

ISSN 0834-4833
ISBN 978-2-550-67516-7
ISBN (pdf) 978-2-550-67517-4
F.D.C. 232.3
L.C. SD 404.3
Dépôt légal 2013
Bibliothèque nationale du Québec
© 2013 Gouvernement du Québec